



VILNIAUS UNIVERSITETAS
EKONOMIKOS IR VERSLO ADMINISTRAVIMO FAKULTETAS

EKONOMINĖ ANALITIKA (6211JX013)

Jokūbas Minikavičius
MAGISTRO BAIGIAMASIS DARBAS

TRUMPALAIKIŲ NAFTOS KAINOS SVYRAVIMŲ IR ILGALAIKIO TRENDŲ SĄRYŠIS	THE RELATIONSHIP BETWEEN SHORT-TERM OIL PRICE FLUCTUATIONS AND THE LONG- TERM TREND
--	--

Darbo vadovas: Dr. Algirdas Bartkus

Vilnius, 2023

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	4
LENTELIŲ SĄRAŠAS	6
SANTRUMPŲ SĄRAŠAS	7
ĮVADAS	8
1. NAFTOS PRODUKCIJOS SVARBA IR KAINOS NUSTATYMO YPATUMAI	10
1.1. Naftos produkcija ir jos svarba pasauliui	10
1.2. Didžiausi naftos vartotojai ir gamintojai	12
1.3. Įvykiai, per paskutinius 20 m. labiausiai paveikę naftos kainas	15
1.3.1. 2007-2009 m. Finansų krizė	15
1.3.2. Skalūnų revoliucija	15
1.3.3. COVID-19 pandemija	16
1.3.4. 2022 m. Rusijos invazija į Ukrainą	16
1.3.5. 2023 m. – JAV bankų krizė	17
1.3.6. Konfliktai Artimųjų Rytų regione	18
1.4. Naftos kainos nustatymo bei prognozavimo modeliai	21
1.4.1. Giliuoju mokymusi paremtas modelis	21
1.4.2. Hibridinis ESM/ARIMA/NAR modelis su nuo laiko kintančiais svoriais	22
1.4.3. Neraiškių laiko eilučių ir didžiausiojo sveikojo skaičiaus funkcijos modelis	24
1.4.4. Naftos paklausos prognozavimo modelis pagal įrangos kiekį	26
1.4.5. ARIMA modelis trumpojo periodo prognozavimui	29
1.4.6. Laike kintantis vektorinės autoregresijos (TVP-VAR) modelis naftos kainos prognozavimui	30
1.4.7. Naftos paklausos prognozavimo modelis, pagrįstas kointegruotumu ir vektoriniu paklaidos korekcijos modeliu (VECM)	31
2. NAFTOS KAINOS MODELIAVIMAS	33
2.1. Pirminė duomenų analizė	33
2.1.1. Kintamųjų aprašymas	33
2.1.2. Grafinis duomenų atvaizdavimas	35
2.1.3. Kintamųjų bazinė statistinė informacija	39
2.1.4. Kintamųjų autokorelogramos ir stacionarumo testai	40
2.1.5. Kintamųjų integracijos eilės radimas	41

2.2. VAR modelių sudarymas	42
2.2.1. VAR1 – modeliuojami 2020 m.	42
2.2.2. VAR2 – modeliuojami 2021 m.	43
2.2.3. VAR3 – modeliuojami 2022 m.	44
2.2.4. VAR4 – modeliuojami 2023 m.	45
2.2.5. VAR5 – modeliuojami 2024 m.	46
2.2.6. Sudarytų VAR modelių Grangerio priežastingumo testai	48
2.2.7. Sudarytų VAR modelių liekanų analizė	49
2.2.8. Sudarytų VAR modelių impulso-atsako analizė	52
2.2.9. WTI kainos prognozavimas pasitelkiant VAR modelius	54
2.2.10. Sudarytų VAR modelių prognozių tikslumo įvertinimas	57
2.3. VECM modelių sudarymas	59
2.3.1. Kintamųjų kointegruotumas.....	60
2.3.2. VECM1 – modeliuojami 2020 m.....	61
2.3.3. VECM2 – modeliuojami 2021 m.....	62
2.3.4. VECM3 – modeliuojami 2022 m.....	63
2.3.5. VECM4 – modeliuojami 2023 m.....	64
2.3.6. VECM5 – modeliuojami 2024 m.....	65
2.3.7. Sudarytų VECM modelių autokorelogramų analizė	66
2.4.7. VECM modelių konversija į VAR	67
2.4.8. Į VAR konvertuotų VECM modelių liekanų analizė	67
2.4.9. Į VAR konvertuotų VECM modelių impulso-atsako analizė.....	69
2.4.10. WTI kainos prognozavimas pasitelkiant VECM modelius.....	71
2.4.11. Sudarytų VECM modelių prognozių tikslumo įvertinimas	74
2.5. Sudarytų VAR ir VECM modelių rezultatų palyginimas.....	75
IŠVADOS.....	80
ŠALTINIAI	82
1. Priedas.....	92
2. Priedas.....	93
3. Priedas.....	98
4. Priedas.....	103
5. Priedas.....	108

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav.	<i>10 daugiausiai naftos suvartojusių valstybių 2023 m.</i>	13
2 pav.	<i>10 daugiausiai naftos pagaminančių valstybių 2023 m.</i>	13
3 pav.	<i>Siūlomo modelio prognozės palyginimas su realiais duomenimis ir kitais modeliais</i>	26
4 pav.	<i>1989 m. Sukurto naftos paklausos prognozavimo modelio rezultatai</i>	28
5 pav.	<i>ARIMA(1, 1, 1) modelio prognozės palyginimas su realiais duomenimis</i>	29
6 pav.	<i>WTI ir BRENTGP kintamųjų grafikai 2015-2024 m.</i>	35
7 pav.	<i>WTI, WTI_F, BRENT_F kintamųjų grafikai 2015-2024 m.</i>	35
8 pav.	<i>WTI naftos gavybos apimtys (WTIBDMLN) 2015-2024 m.</i>	36
9 pav.	<i>OPEC organizacijos naftos gavybos apimtys (OPECBDMLN) 2015-2024 m.</i>	36
10 pav.	<i>„S&P 500“ indekso kainos (SP500) grafikas 2015-2024 m.</i>	37
11 pav.	<i>DJOG ir DJCI indeksų kainos grafikai 2015-2024 m.</i>	37
12 pav.	<i>JAV bendrosios pramonės gamybos indekso (INDPRO) grafikas 2015-2024 m.</i>	37
13 pav.	<i>JAV Federalinių fondų palūkanų normos (FEDINT) grafikas 2015-2024 m.</i>	38
14 pav.	<i>JAV Dolerio indekso (USDIND) grafikas 2015-2024 m.</i>	38
15 pav.	<i>Nuvažiuto atstumo JAV (VMT) grafikas 2015-2024 m.</i>	38
16 pav.	<i>Pasirinktų kintamųjų autokorelogramų grafikai</i>	92
17 pav.	<i>Sudaryto VAR1 modelio stabilumo testo rezultatai</i>	93
18 pav.	<i>Sudaryto VAR2 modelio stabilumo testo rezultatai</i>	94
19 pav.	<i>Sudaryto VAR3 modelio stabilumo testo rezultatai</i>	95
20 pav.	<i>Sudaryto VAR4 modelio stabilumo testo rezultatai:</i>	96
21 pav.	<i>Sudaryto VAR5 modelio stabilumo testo rezultatai:</i>	97
22 pav.	<i>VAR1 modelio impulso-atsako analizės rezultatai:</i>	98
23 pav.	<i>VAR2 modelio impulso-atsako analizės rezultatai:</i>	99
24 pav.	<i>VAR3 modelio impulso-atsako analizės rezultatai:</i>	100
25 pav.	<i>VAR4 modelio impulso-atsako analizės rezultatai:</i>	101
26 pav.	<i>VAR5 modelio impulso-atsako analizės rezultatai:</i>	102
27 pav.	<i>Sudarytų VAR modelių prognozių rezultatai WTI kintamajam</i>	55
28 pav.	<i>WTI kainos eilutė nuo 2020 m. Sausio mėn. iki 2024 m. Lapkričio mėn. ir sudarytų VAR modelių prognozių rezultatas:</i>	56
29 pav.	<i>VECM1 modelio liekanų autokorelogramos (ACF):</i>	103
30 pav.	<i>VECM2 modelio liekanų autokorelogramos (ACF):</i>	104

31 pav.	<i>VECM3 modelio liekanų autokorelogramos (ACF):</i>	105
32 pav.	<i>VECM4 modelio liekanų autokorelogramos (ACF):</i>	106
33 pav.	<i>VECM5 modelio liekanų autokorelogramos (ACF):</i>	107
34 pav.	<i>Į VAR konvertuoto VECM1 impulso-atsako analizės grafikai:</i>	108
35 pav.	<i>Į VAR konvertuoto VECM2 impulso-atsako analizės grafikai:</i>	108
36 pav.	<i>Į VAR konvertuoto VECM3 impulso-atsako analizės grafikai:</i>	108
37 pav.	<i>Į VAR konvertuoto VECM4 impulso-atsako analizės grafikai:</i>	109
38 pav.	<i>Į VAR konvertuoto VECM5 impulso-atsako analizės grafikai:</i>	109
39 pav.	<i>Sudarytų VECM modelių prognozių rezultatai WTI kintamajam</i>	72
40 pav.	<i>WTI kainos eilutė 2020-2024 m. ir sudarytų VECM modelių prognozių rezultatas</i>	74
41 pav.	<i>Sudarytų VAR ir VECM modelių prognozių grafinis palyginimas</i>	75
42 pav.	<i>VAR ir VECM modelių prognozių grafinis palyginimas</i>	77

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1	Lentelė: <i>Tyrimo sudarytų modelių vidutinės kvadratinės paklaidos</i>	22
2	Lentelė: <i>Kaymak ir Kaymak modelio palyginimas su kitais modeliais</i>	25
3	Lentelė: <i>Kintamųjų bazinė statistinė informacija</i>	39
4	Lentelė: <i>Kintamųjų ADF stacionarumo testo rezultatai:</i>	41
5	Lentelė: <i>Kintamųjų ADF testo rezultatai (1 skirtumas):</i>	41
6	Lentelė: <i>VAR modelių Granger priežastingumo testo rezultatai:</i>	49
7	Lentelė: <i>Sudarytų VAR modelių liekanų autokoreliacijos testo rezultatai:</i>	50
8	Lentelė: <i>Sudarytų VAR modelių liekanų dispersijos pastovumo testo rezultatai:</i>	51
9	Lentelė: <i>Sudarytų VAR modelių liekanų pasiskirstymo testo rezultatai:</i>	51
10	Lentelė: <i>Sudarytų VAR modelių ir prognozuojamų metų informacija</i>	54
11	Lentelė: <i>Sudarytų VAR modelių paklaidų reikšmės</i>	58
12	Lentelė: <i>Johanseno kointegracijos testo rezultatai</i>	60
13	Lentelė: <i>VECM1 duomenų vektoriaus Johanseno kointegracijos testo rezultatai</i>	61
14	Lentelė: <i>VECM2 duomenų vektoriaus Johanseno kointegracijos testo rezultatai</i>	62
15	Lentelė: <i>VECM3 duomenų vektoriaus Johanseno kointegracijos testo rezultatai</i>	63
16	Lentelė: <i>VECM4 duomenų vektoriaus Johanseno kointegracijos testo rezultatai</i>	64
17	Lentelė: <i>VECM5 duomenų vektoriaus Johanseno kointegracijos testo rezultatai:</i>	65
18	Lentelė: <i>I VAR konvertuotų VECM modelių liekanų autokoreliacijos testo rezultatai</i>	68
19	Lentelė: <i>I VAR konvertuotų VECM modelių liekanų homoskedastiškumo testo rezultatai</i>	68
20	Lentelė: <i>I VAR konvertuotų VECM modelių liekanų normalumo testo rezultatai</i>	69
21	Lentelė: <i>Sudarytų VECM modelių suvestinė</i>	72
22	Lentelė: <i>Sudarytų VECM modelių paklaidų reikšmės</i>	74
23	lentelė: <i>Sudarytų VAR ir VECM modelių paklaidų palyginimas</i>	78

SANTRUMPŲ SĄRAŠAS

AIC (angl. *Akaike Information Criterion*) – Akaike informacinis kriterijus

ARMA (angl. *Autoregressive Moving Average*) – Autoregresinis slankiųjų vidurkių modelis

ARIMA (angl. *Autoregressive Integrated Moving Average*) – Autoregresinis integruotų slankiųjų vidurkių modelis

ANN (angl. *Artificial Neuron Networks*) – Dirbtiniai neuroniniai tinklai

EIA (angl. *Energy Information Administration*) - Energetikos informacijos administracija

FTS (angl. *Fuzzy Time Series*) – Neraiškos laiko eilutės

FRED (angl. *Federal Reserve Economic Data*) – Federalinio rezervų ekonominiai duomenys

FPE (angl. *Final Prediction Error*) – Galutinės spėjimo paklaidos kriterijus

Kg CE/ha (angl. *Kilograms of Carbon Emissions per Hectar*) – Kilogramai anglies dvideginio emisijų per hektarą

HQ (angl. *Hannan-Quinn Information Criterion*) – Hannan-Quinn informacinis kriterijus

MAE (angl. *Mean Absolute Error*) – Vidutinė absoliuti paklaida

MAPE (angl. *Mean Absolute Percentage Error*) – Vidutinė absoliutinė procentinė paklaida

MSE (angl. *Mean Square Error*) – Vidutinė kvadratinė paklaida

OPEC (angl. *The Organization of the Petroleum Exporting Countries*) - Naftą eksportuojančių šalių organizacija

RMSE (angl. *Root Mean Square Error*) – Vidutinės kvadratinės paklaidos šaknis

RW (angl. *Random Walk*) – Atsitiktinis klaidžiojimas

SC (angl. *Schwarz Bayesian Information Criterion*) – Švarco bajesinis informacinis kriterijus

SVM (angl. *Support Vector Machine*) – Atraminių vektorių klasifikatorius

VAR (angl. *Vector Autoregression*) – Vektorinė autoregresija

VECM (angl. *Vector Error Correction Model*) – Vektorinis paklaidos korekcijos modelis

WTI (angl. *West Texas Intermediate*) – Vakarų Teksaso lengvoji nafta

IVADAS

Nafta – vienas svarbiausių gamtinių išteklių. Iš jos gaminama įvairi produkcija, su kuria žmogus susiduria kasdien – pradedant įvairiais plastikais, baigiant degalais, įgalinančiais žmonių ir prekių judėjimą. Prekių judėjimas, energetika – pamatinės ekonomikos dedamosios, todėl nafta įgauna ne tik ekonominės svarbos kontekstą, tačiau ir politinės. Tai yra strateginis išteklius, be kurio šiuo metu ir bent jau artimiausioje ateityje, valstybės ir visuomenė negali funkcionuoti. Naftos kainų pokyčiai turi didelį poveikį transporto ir logistikos sektoriams, o šių sektorių teikiamų paslaugų kainodara tiesiogiai veikia ir kainas, kurias galutiniai vartotojai mato parduotuvių lentynose. Todėl, naftos kainos prognozavimas ir trumpalaikių bei ilgalaikių kainos dinamikų identifikavimas tampa labai svarbiu klausimu, verslams formuojant prekių bei paslaugų kainodarą. Mokslinėje literatūroje pateikiama nemažai metodų, skirtų naftos kainos bei paklausos dydžiui prognozuoti, tačiau daugumą jų teikia pirmenybę matematinei logikai ir modeliavimui, dažnai ignoruojant geopolitinį kontekstą. Naftos kainos prognozavimo problematika dažniausiai nėra susijusi su modelio sudarymu arba tinkamų veiksnių/kintamųjų pasirinkimu, tačiau labiau su pačiu žmogumi, valstybėmis ir politiniu kontekstu. Jos kaina retai priklauso nuo tradicinio pasiūlos/paklausos santykio, o kiekvienas praeities šokas arba kainos tendencijos pokytis yra susijęs su tam tikrais geopolitiniais šokais arba naftą eksportuojančių šalių sprendimais. Kainoms ryškų poveikį gali turėti ir žinios apie ateities įvykius, kurie dar neįvykę ir nežinia, ar iš viso įvyks, o tai ir yra pagrindinė problema – naftos kaina ir ilgalaikės bei trumpalaikės dinamikų pokyčiai turi būti prognozuojami/vertinami ne tik matematinio modeliavimo pagalba, tačiau lygiai taip pat stipriai remiantis naujienomis, susijusiomis didžiųjų šalių ekonomine padėtimi bei tam tikrų geografinių regionų politiniu stabilumu. Tik apjungiant šiuos du dalykus, galima gauti prognozes, kurios bus pateisinamos ir logiškos. Kitais atvejais, prognozės gali būti pateisinamos matematiškai, tačiau gali neturėti jokio realaus Pasaulio pagrindimo.

Mokslinėje literatūroje galima sutikti labai įvairių modelių susijusių su naftos paklausos ir kainos prognozavimu, pastaruoju metu labai populiarėja hibridiniai ir giliuoju arba mašininio mokymusi pagrįsti modeliai, tačiau žinant, kokie veiksniai dominuoja prognozuojamu laikotarpiu, naftos kainai ir jos dinamikos pokyčiams prognozuoti galima pakankamai neblogai pritaikyti tradicinius ir sąlyginai žemo kompleksiskumo VAR bei VECM modelius. Reiškiasi, dažnu atveju, prognozės kokybė ir tikslumas atsiremia ne tik į pasirinktą metodą bei sudaryto modelio kokybę, tačiau ir suvokimą, numatymą, su kokiais geopolitiniais iššūkiais bei problemomis galimai susidurs Pasaulis prognozuojamu periodu, ir kokie ilgalaikiai bei trumpalaikiai poveikiai iš to išplauks.

Darbo problema: WTI naftos, vidutinės mėnesinės kainos, prognozavimas 2020-2024 metų periodais bei trumpalaikių ir ilgalaikių naftos kainos dinamikų pokyčių sąryšis.

Darbo objektas: WTI naftos kainos prognozavimas ir dinamikos pokyčių užfiksavimas taikant VAR ir VECM modelius.

Darbo tikslas: Atlikti WTI naftos kainos prognozes ir nustatyti, ar tarp trumpalaikės ir ilgalaikės naftos kainos dinamikos egzistuoja sąryšis.

Darbo uždaviniai:

- 1) Aptarti naftos svarbą;
- 2) Aptarti paskutinių 20-ies metų įvykius, turėjusius didžiausią poveikį naftos kainoms;
- 3) Atlikti mokslinės literatūros apžvalgą ir aptarti mokslininkų sudarytus modelius, skirtus naftos kainos ir paklausos modeliavimui;
- 4) Atlikti pirminę pasirinktų kintamųjų laiko eilučių analizę;
- 5) Sudaryti VAR ir VECM tipo modelius, juos įvertinti pagal modelių kokybinius parametrus;
- 6) Taikant sudarytus VAR ir VECM modelius, atlikti metines prognozes 2020-2024 m. laikotarpiams.

Tyrimo metodai:

- 1) Mokslinės literatūros analizė;
- 2) Duomenų analizė;
- 3) VAR/VECM modelių sudarymas.

Tyrimo rezultatai: Išanalizuota mokslinė literatūra, susijusi su naftos kainų modeliavimu ir prognozavimu. Aptarta naftos svarba ir geopolitiniai įvykiai, per paskutinius 20 m. turėję didžiausią poveikį naftos kainų formavimuisi. Atlikta pirminė pasirinktų kintamųjų duomenų analizė ir sudaryti VAR ir VECM modeliai, kurių patikimumas buvo įvertintas taikant kokybinius kriterijus. Sudarytų modelių pagalba atlikus metines naftos kainos prognozes, buvo nustatyta, kad VAR ir VECM tipo modeliai yra tinkami naftos kainos modeliavimui, o trumpalaikės ir ilgalaikės naftos kainos dinamikos pokyčiai sąryšio neturi. Tyrimo metu buvo išsiaiškinta, kad didžiausią poveikį naftos kainos eilutei turi geopolitiniai įvykiai, kuriuos nuspėti kartais labai sudėtinga.

1. NAFTOS PRODUKCIJOS SVARBA IR KAINOS NUSTATYMO YPATUMAI.

Mokslinės literatūros analizės pradžioje bus aptariama naftos ir iš jos gaminamos produkcijos svarba. Toliau bus trumpai aptarti didžiausi žaliavos vartotojai, gamintojai bei naftą išgaunančias šalis vienijanti OPEC organizacija. Kadangi nafta vienas iš svarbiausių gamtinių išteklių, žaliavos kainų pokyčiai neišvengiamai priklauso ir nuo geopolitinių įvykių, todėl vėliau bus aptariami pagrindiniai geopolitiniai įvykiai nuo 2000 m., labiausiai paveikę žaliavos kainas. Apibendrinus veiksnius, turinčius didžiausią poveikį naftos kainų pokyčiams, bus pereinama prie svarbiausios mokslinės literatūros analizės dalies – matematinių naftos paklausos ir kainos bei kainos prognozavimo modelių, kurių pagrindinis tikslas išsiaiškinti, kiek kasti naftos, kad rinkoje nesusidarytų nei trūkumas, nei perteklius. Pabaigoje seks teorinės dalies apibendrinimas.

1.1. Naftos produkcija ir jos svarba pasauliui

Vandens transportas – Pasaulio prekybos bei tiekimo grandinių stuburas. Juo gabenama viskas – nuo žaliavų iki baigtų produktų. Tai pigiausias ir efektyviausias metodas transportuoti didelius prekių bei žaliavų kiekius, o tai savo ruožtu leidžia pasiekti žemesnes produkcijos kainas galutiniam vartotojui (DFreight, 2022). Šiuo metu, apie 80 % visų Pasaulio prekių iš gamybos vietų vartotojus pasiekia pasitelkus būtent vandens transportą (Statista, 2023) ir dažniausiu atveju, pasitelkus konteinerinius laivus. Šie laivai pagrinde varomi bunkeriniu kuru (angl. *Heavy Fuel Oil*), kuris iš esmės yra likutinis ir mažai apdirbtas naftos produktas. Laivybos industrija kasmet sudegina maždaug 300 mln. tonų šio kuro ir į aplinką išmeta apie 1 mlrd. tonų CO₂, o tai savo ruožtu 2018 m. sudarė apie 3 % nuo viso žmonijos sukurto CO₂ kiekio (Jacoby, 2022).

Skaičiuojama, kad 2023 m. Pasaulyje gyvena apie 79 mln. veganų ir jų dalis sparčiai auga. Vien Jungtinėse Amerikos Valstijose nuo 2004 iki 2019 m. veganų skaičius išaugo apie 30 kartų (Soylent, 2023). 2021 m. Jungtinėje Karalystėje atliktos apklausos metu, buvo nustatyta, jog net 53 % apklaustųjų nusprendė tapti veganais dėl aplinkosauginių problemų (Wunsch, 2023). Veganai ir vegetarai, atsisakydami mėsos dėl aplinkosauginių priežasčių, turi šio toki pagrindą. Vien 2021 m., 14,5 % nuo visų žmonijos išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų sudaro emisija, išskiriama gyvulininkystės sektoriaus (Wilde, 2022). Taigi, vegetarų ir veganų tikslas gražus, tačiau realybė kiek kitokia. Sojų pupelės pagrinde gabenamos vandens transportu (CME Group, 2023). Bananai po Pasaulį gabenami pasitelkus konteinerinius laivus (Banabiosa, 2022). Avokadai irgi vežami pasitelkus konteinerinius laivus (MSC, 2023). Kaip minėta anksčiau, apie

80 % visų Pasaulio prekių vežamos vandens transportu, todėl nenuostabu, kad pasitelkus kondicionuojamus konteinerius, padedančius išlaikyti produktų kokybę, vandens transportu vežami ir veganų pietūs. Visa tai priveda prie išvados, kad nors veganai ir vegetarai turi teigiamą poveikį aplinkai, jie vis tiek neišvengiamai susiduria su naftos industrija, kuri laivybos industrijos pagalba įgalina prekių judėjimą tarp šalių ir kontinentų.

Be naftos produktų neįmanomas ir žemės ūkis, kuriame naudojama daug technikos augalams sėti, prižiūrėti bei galiausiai nuimti derlių. Pavyzdžiui, Kinijoje 1 ha užaugintų ryžių palieka vidutiniškai 15 679 Kg CE/ha dydžio anglies pėdsaką (angl. *Carbon Footprint*), iš kurių 13 % arba 2 038 kg sudaro žemės ūkio technikos emisijos, gaunamos deginant degalus. Kviečiai turi mažesnes galutines emisijas lyginant su ryžiais – 7900 Kg CE/ha, tačiau šiuo atveju žemės ūkio technikos sunaudojamo kuro emisijos sudaro vidutiniškai apie 25 % (apie 1975 Kg) nuo viso į aplinką išmetamo emisijų kiekio (Zhang et al., 2017). Taigi, naftos produktai bei jų poveikis aplinkai neatsiejamas ir nuo žemdirbystės.

Iš naftos gaminami ne tik degalai, tačiau ir naftos chemijos produktai (angl. *Petrochemicals*) (Speight, 2010). Iš šių žaliavų gaminami įvairūs produktai, kurie sutinkami kasdien – pradedant įvairiais plastikais, polimerais, sintetinė guma ir baigiant trąšomis, vaistais, dažais bei kitomis statybinėmis medžiagomis (IEA, 2018). Tai yra medžiagos, prie kurių žmogus prisiliečia kasdien, dažnai nesusimastydamas apie jų kilmę.

Kai kurių šalių atveju, naftos industrija neatskiriama ir nuo šalies ekonominės gerovės. Pavyzdžiui, Kanadoje naftos ir dujų sektorius 2021 m. sukūrė 7,2 % bendrojo vidaus produkto (toliau – BVP), o 2000-2019 m. laikotarpiu į valstybės biudžetą sumokėjo 505 mlrd. JAV dolerių (toliau – USD (Canadian Energy Centre, 2023)). Kai kurių šalių pajamos iš eksporto ypač stipriai priklauso nuo išgautos ir parduodamos naftos. Pavyzdžiui Irano atveju, 2022 m. dujų ir naftos eksportas sudarė apie 82 % viso šalies eksporto (Trading Economics, 2023). Venesuelos atveju, šalies biudžetas visiškai priklauso nuo naftos produkcijos eksporto. 2022 m. Venesuela eksportavo naftos produkcijos už 85,92 mlrd. USD, o tai sudarė 98 % viso šalies eksporto (Trading Economics, 2023). Venesuelos ir Irano biudžetų priklausomybė nuo naftos eksporto nėra išimtis. Saudo Arabijos atveju nafta ir jos gaminiai sudaro 87 % viso šalies eksporto (Trading Economics, 2023). Verta paminėti Libijos bei Irako atvejus. Naftos eksportas sudaro apie 95 % viso Libijos eksporto ir apie 90 % šalies pajamų (Trading Economics, 2023), o Irako atveju – net 99 % viso šalies eksporto (Trading Economics, 2023). Apibendrinant, galima teigti, jog kai kurioms šalims naftos eksportas gyvybiškai svarbus, o kai kurioms - beveik vienintelis biudžeto pajamų šaltinis. Naftos bendrovės ne tik moka mokesčius į valstybių biudžetus, tačiau ir sukuria darbo vietas. 2019 m. naftos industrijoje dirbo apie 8 mln. žmonių visame pasaulyje (IEA, 2023), o 2022 m. pradžioje

vien JAV naftos industrijoje dirbo apie 863 000 darbuotojų (Simper, 2022). Taigi, nafta visuomenei svarbi ne tik kaip žaliava, tačiau ir pajamų šaltinis.

Apibendrinant galima teigti, jog nafta ir jos gaminiai neatsiejama žmogaus kasdienybės dalis. Jos produktai ne tik įgalina žmonių ir prekių judėjimą, tačiau kartu leidžia sukurti kitaas žaliavas bei medžiagas, iš kurių gaminami įvairūs produktai, sutinkami kasdienybėje. Kai kuriose valstybėse, naftos industrija sukuria nemažą kiekį darbo vietų ir sumoka nemažai mokesčių į valstybės biudžetą, kurių pagalba galima apmokėti visuomenei palaikyti būtinus socialinius projektus. Apibendrinant jos svarbą, galima teigti, kad be naftos apsieiti negali ir „Just Stop Oil“ protestuotojai, kurie ant meno kūrinių ir pastatų purškia dažus, pagamintus iš naftos.

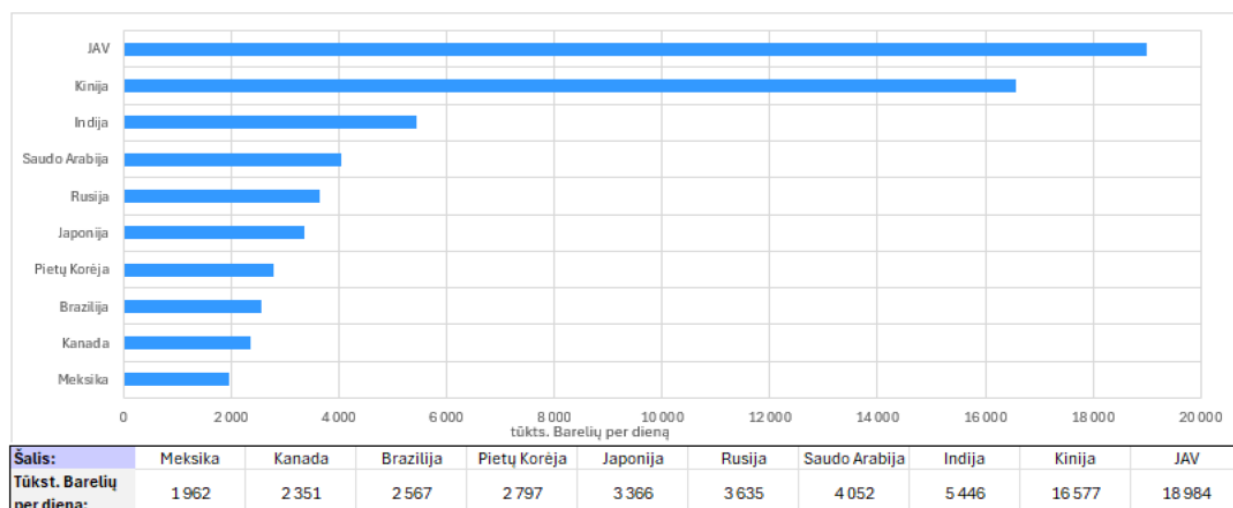
1.2. Didžiausi naftos vartotojai ir gamintojai

Naftos rinka nėra išimtis. Kaip ir visos kitos, ji susidaro iš dviejų pagrindinių elementų – gamintojų ir vartotojų. Abu elementai yra vienodai svarbūs, kadangi jie negali egzistuoti vienas be kito, tačiau dažnu atveju paklausą ir poreikį formuoja vartotojas, kuris ir diktuoja norimų produktų gamybos apimtį.

Kaip minėta anksčiau, nafta ir jos produktai turi daugybę panaudojimo sričių. Iš naftos gaminamas kuras, skirtas transportui, šildymui, plastikai, dažai, sintetiniai gumos produktai, apsauginiai stiklai ir begalės kitų produktų (ConocoPhillips, 2023), kurie būtini Pasaulio bei kiekvienos valstybės funkcionavimui, ir su kuriais kiekvienas žmogus susiduria kasdien. Iš to išplaukia, jog kiekvienai valstybei ir visuomenei yra būtinas naftos produktų importas arba jos gavyba, jei šalies teritorijoje egzistuoja naftos telkiniai.

Kiekviena valstybė turi skirtingą naftos produktų paklausos lygį, kuris priklauso nuo šalies išsivystymo, politikos, ekonomikos ir populiacijos dydžio. Natūraliai, kuo didesni šie rodikliai, tuo šalis suvartoja daugiau naftos produktų. Toliau esančiame 1 paveikslėlyje nurodoma 10, 2023 m. daugiausiai naftos suvartojusių valstybių bei suvartoti kiekiai tūkstančiais barelių (Statista, 2024):

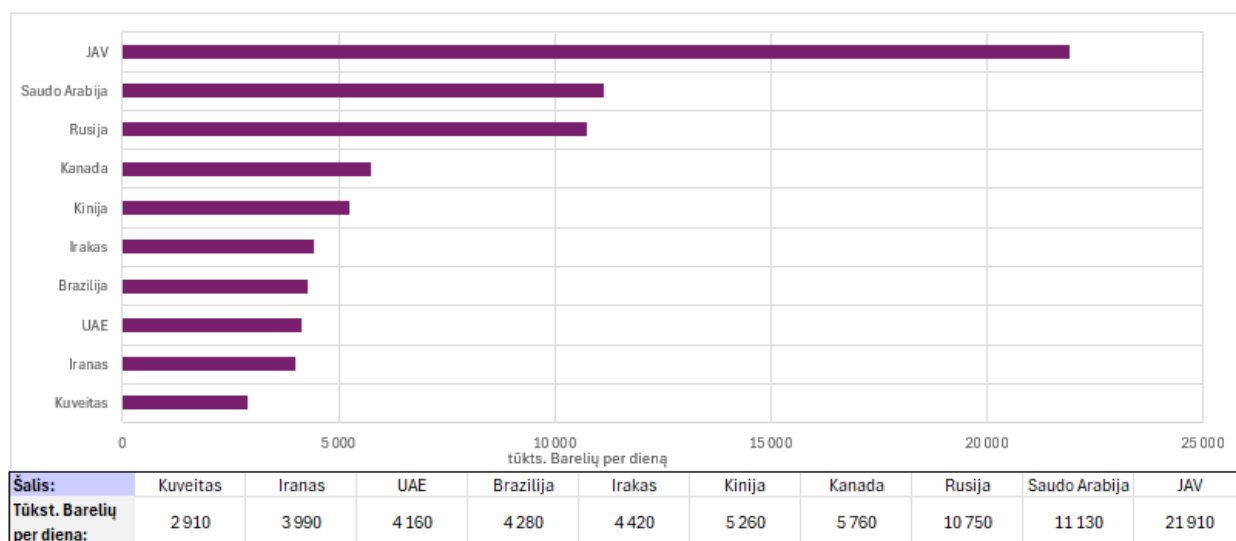
1 pav. 10 daugiausiai naftos suvartojusių valstybių 2023 m.



Šaltinis: Sudaryta autoriaus pagal Statista, 2024.

Pagal 2023 m. duomenis, daugiausiai naftos suvartojo dvi didžiausios Pasaulio ekonomikos – JAV ir Kinija. Pagal skaičius jos kelis kartus lenkia kitas šalis. 2023 m. JAV suvartojo beveik 4 kartus daugiau naftos nei 3 vietoje esanti Indija, ir beveik 5 kartus daugiau, nei 4 vietoje esanti Saudo Arabija. Suvartojimo skirtumas tarp JAV ir Kinijos siekia beveik tiek, kiek suvartoja 9 vietoje esanti Kanada. Taigi, JAV ir Kinija – didžiausi naftos vartotojai Pasaulyje, o po jų seka kitos išsivysčiusios arba didelės besivystančios ekonomikos. Kas suvartojama, turi būti ir pagaminta. Toliau 2 paveiksle pateikiami 10 didžiausių naftos gamintojų 2023 m. (Statista, 2024):

2 pav. 10 daugiausiai naftos pagaminančių valstybių 2023 m.



Šaltinis: Sudaryta autoriaus pagal Statista, 2024.

Pagal anksčiau pateiktą 2 paveikslą matoma, jog 2023 m. produkcijos, kaip ir vartojimo atveju, turimas tas pats lyderis – JAV. JAV per 2023 m. išgavo tokį patį kiekį naftos kaip antroje vietoje esanti Saudo Arabija ir trečioje vietoje esanti Rusija kartu sudėjus. Po Saudo Arabijos, trečioje vietoje seka Rusija. JAV, kartu su Saudo Arabija ir Rusija iškasa ženkliai didesnius kiekius, nei sekančios septynios valstybės, todėl šias šalis galima laikyti tvirtais naftos gavybos rinkos lyderiais.

Jei daugiausiai naftos suvartojusių valstybių sąrašą labiau lėmė populiacijos, ekonomikos bei šalies geografinis mastas, tai analogiška situacija ne visai nesusidaro daugiausiai naftos išgaunančių valstybių sąrašė. Jame atsiranda tokios valstybės kaip Kuveitas ir Jungtiniai Arabų Emyratai, kurios nepasižymi dideliu gyventojų skaičiumi ar geografiniu plotu. Atsiranda ir Iranas bei Irakas, kurie nors ir turi pakankamai nemažą geografinį plotą, nepasižymi stipriomis ekonomikomis. Viskas susiveda į tai, ar valstybė savo teritorijoje turi prieigą prie naftos telkinių. Nustatyta, jog Artimųjų Rytų regione yra daugiausiai patvirtintų naftos telkinių visame Pasaulyje (Statista, 2023), todėl natūraliai daugiausiai naftos išgaunančių valstybių sąrašė 5 iš 10 ir yra iš Artimųjų Rytų regiono. Būtent šis regionas išgauna apie 30 % viso Pasaulyje išgaunamo naftos kiekio (Alterman, 2021).

Kalbant apie naftą išgaunančias valstybes, svarbu paminėti OPEC organizaciją ir jos platesnę atmainą OPEC+, kuri vienija naftą eksportuojančias Artimųjų Rytų, Afrikos, Azijos ir Pietų Amerikos regionų valstybes. Pagrindinis organizacijos tikslas – tarpusavyje derinti naftos gavybos apimtis, siekiant išvengti stiprių naftos kainų svyravimų, kurie nėra naudingi nei importuojančioms, nei eksportuojančioms šalims. OPEC ir OPEC+ šalys per dieną išgauna apie 48 mln. Barelių naftos, o tai sudaro apie 59 % visos Pasaulio produkcijos (Hill ir Comstock, 2023). Kadangi vien OPEC šalys kontroliuoja apie 80,4 % visų žinomų Pasaulio naftos rezervų (OPEC, 2022), organizacija neišvengiamai įgauna didžiulę įtaką reguliuojant naftos gavybos apimtis bei rinkos kainas.

Apibendrinant galima teigti, jog tarp didžiausių naftos vartotojų dominuoja šalys, kurios pasižymi didele ekonomika bei gyventojų skaičiumi (pvz. JAV, Kinija), o didžiausių gamintojų sąrašas labiau priklauso nuo šaliai priklausančių žaliavos rezervų dydžio (JAV, Rusija, Artimųjų Rytų šalys). Galima teigti, jog nemažą poveikį naftos rinkai turi OPEC organizacija ir jos atmaina OPEC+, kuri vienija naftą išgaunančias Artimųjų Rytų, Azijos bei Pietų Amerikos regionų valstybes. Kadangi didžiausi Pasaulio naftos rezervai pagrįdė priklauso valstybėms, esančiose nevisai stabiliuose Artimųjų Rytų, Pietų Amerikos ir Azijos regionuose, naftos kaina neišvengiamai priklauso ir nuo geopolitinių įvykių bei jų pasekmių.

1.3. Įvykiai, per paskutinius 20 m. labiausiai paveikę naftos kainas

Ne kartą minėta, jog nafta viena svarbiausių žaliavų, reikalinga žmonijos egzistavimui ir visuomenės gerovei. Dažnu atveju, būtent gamtiniai resursai ir prieiga prie jų telkinių tampa įvairių konfliktų priežastimi. Išsplieskus konfliktui regione, kuriame išgaunama nafta, dažniausiu atveju naftos kaina kyla, kadangi rinka pradeda abejoti, ar sutrikus žaliavos tiekimui ir logistikai, rinkoje bus pakankamai žaliavos paklausai patenkinti (Noguera-Santaella, 2015). Kainoms poveikį turi ir pasiūlos bei paklausos santykis, ekonominė aplinka bei naftą išgaunančių šalių politiniai sprendimai (Berkmen et al., 2005). Šiame skyrelyje bus apžvelgti pagrindiniai įvykiai per paskutinius 20 m., labiausiai paveikę naftos kainos į vieną ar kitą pusę.

1.3.1. 2007-2009 m. Finansų krizė

2007 m. Gruodį prasidėjusi finansų krizė tęsėsi iki 2009 m. Birželio. Tai buvo viena iš didžiausių finansinių krizių per visą istoriją ir 2-a didžiausia per visą JAV istoriją. JAV BVP susitraukė 4,3 %, o 2009 m. Spalį nedarbo lygis pasiekė 10 % (Field, 2022). Europoje situacija nebuvo geresnė nei JAV – žemynas taipogi nugrimzdo į recesiją, po kurios sekė Euro zonos krizė. Jos metu ypač nukentėjo pietų šalys – Graikija, Ispanija, Italija, Portugalija (Zalan ir Debeuf, 2020). Pagrindinė krizės priežastis – žemi standartai nekilnojamo turto paskoloms. Situaciją pablogino ir rizikingi investuotojų sprendimai, besaikis išlaidavimas, sumažėjusi rinkos reguliacija. Kilus paskolų krizei, bankrutavo vienas didžiausių JAV investicinių bankų „Lehman Brothers“, ko pasėkoje tarp bankų kilo panika ir buvo beveik sustabdytas paskolų išdavimas (Field, 2022). Į tai aštriai sureagavo ir akcijų rinka – S&P 500 indeksas krito 57 %, o ketvirtadalis JAV namų ūkių prarado apie 75 % grynosios vertės (Duignan, 2023). 2008 m. Liepą WTI naftos kaina pakilo iki rekordinių 145,31 USD/b dėl nusilpusio JAV dolerio, išaugusios paklausos ir politinės įtampos naftą išgaunančiuose regionuose. Krizės metu, dėl stagnuojančios Pasaulio ekonomikos, sumažėjusios paklausos bei šiek tiek pagerėjusių JAV santykių su Iranu, nuo 2008 m. Liepos naftos kaina nukrito iki 30,28 USD/b. Per 5 mėn. laikotarpį kaina nukrito net 80 % (Joo et al., 2020).

1.3.2. Skalūnų revoliucija

2010-2014 m. JAV naftos industrija pradėjo vystyti skalūnų naftos išgavimo metodą, kuris technologinio progreso dėka atpigo ir tapo ekonomiškai pateisinamas metodas naftai išgauti.

Skalūninės naftos išgavimas suderina 2 naftos gavybos technikas – hidraulinį ardymą ir horizontalų gręžimą, o tai savo ruožtu leidžia pasiekti didesnes telkinio dalis ir efektyviau išgauti naftą. Šis metodas sukėlė perversmą JAV naftos industrijoje ir leido šaliai sumažinti naftos importą iš užsienio valstybių nuo 12,5 mln. BPD (toliau – Barelių per dieną) 2005 m. iki 4,7 mln. BPD 2015 m. JAV pradėjo eksportuoti gatavą produkciją ir netgi žalią naftą (Rapier, 2017). JAV skalūnų naftos gavyba sudarė 60 % Pasaulio naftos pasiūlos augimo 2011-2015 m. laikotarpiu, o pasiūlos perteklius, kurį lėmė OPEC bei Irano sprendimai, buvo pagrindinis veiksnys, sukėlęs kainų nuosmukį 2014 m. viduryje, kai WTI kaina krito nuo 108 USD/b iki 29,44 USD/b 2016 m. pradžioje. 2016 m. gale OPEC pakeitė savo strategiją norėdama mažinti gamybą bei siekdama stabilizuoti naftos kainas rinkoje (IMF, 2016). Skalūnų revoliucija – vienas svarbiausių su nafta susijusių įvykių per paskutinius 20 m., kadangi ji leido JAV tapti didžiausia naftos gamintoja pasaulyje ir sumažinti šalies priklausomybę nuo žaliavos importo iš kitų šalių.

1.3.3. COVID-19 pandemija

2020 m. pradžioje Pasaulyje įsibėgėjo COVID-19 pandemija. Buvo uždaromos sienos tarp valstybių, įvedami karantinai ir jei leidžia galimybės, nuotolinis darbas. Sustojo judėjimas. COVID-19 pandemija neigiamai paveikė Pasaulio ekonomiką - bendras Pasaulio BVP 2020 m. susitraukė 3,4 % (Dyvik, 2023). Karantino taisyklės, varžančios žmonių ir krovinių judėjimą, turėjo ypač neigiamą poveikį transporto sektoriui, ko pasekoje stipriai krito naftos produktų suvartojimas ir paklausa (IEA, 2020). Neigiamą poveikį kainai turėjo ne tik sumažėjusi produkcijos paklausa, tačiau ir tarp Saudo Arabijos bei Rusijos išplieskęs naftos kainų karas, kuomet šalims nepavyko susitarti dėl gavybos apimčių mažinimo. Dėl rinkoje susidariusio žaliavos pertekliaus, 2020 m. Balandžio gale, West Texas Intermediate (toliau – WTI), pagal kurią sudaromi ateities sandoriai, pirmą kartą istorijoje nukrito iki neigiamos kainos – iki -37,63 USD/b (Le et al., 2021). Tarpininkaujant JAV, Rusijai ir Saudo Arabijai pavyko susitarti dėl gavybos apribojimų, kurie leido stabilizuoti kainas rinkoje (Krauss, 2020) ir 2020 m. Rugpjūtį, naftos kaina pasiekė 41,20 USD/b (Watts ir Saefong, 2020). 2021 m., laisvėjant karantino apribojimams ir išaugus paklausai, naftos kaina pakilo iki 73 USD/b (Resnick-ault, 2021).

1.3.4. 2022 m. Rusijos invazija į Ukrainą

Vasario 24 d. prasidėjo Rusijos invazija į Ukrainą. Pagrindinės konflikto priežastys – Rusijos noras sustabdyti NATO bloko ekspansiją į rytus bei susigražinti istorinę įtakos sferą aplink

vakarines šalies sienas, o Ukraina tampa šių tikslų pagrindu. Rusijai sprendimą palengvino nusilpusi ir nevienalytė Europa - JK vis dar tvarkėsi su Brexit padariniais, Vokietijoje vyko permainos pasibaigus Merkel erai, o visa žemyno energetika stipriai priklauso nuo rusiškų žaliavų. Tuo tarpu JAV labiau koncentravosi į konkurenciją su Kinija, o Bideno administracija turėjo kėblumų ir su vidine šalies politika (Hill, 2023). Prasidėjus konfliktui vakarai gan greitai mobilizavosi – Ukrainai buvo pradėta teikti parama, o Rusijai įvestos sankcijos, kurios apėmė ne tik finansinius ir prekybos sektorius, tačiau ir energetinius. Dar 2022 m. Kovo pradžioje JAV ir JK paskelbė apie draudimą importuoti rusišką naftos produkciją, o ES importą sumažino dvejais trečdaliais (GEP, 2022). Vakarų valstybių sprendimas atsisakyti rusiškos naftos sukėlė kainų augimą – BRENT naftos barelis pabrango iki 139,12 USD/b (Kearney, 2022), tačiau šalys sugebėjo persiorientuoti ir rusiška nafta buvo pakeista žaliava iš Artimųjų Rytų ir rytų Azijos. Naftos kainos rinkoje palaipsniui stabilizavosi ir 2023 m. Kovą barelis BRENT naftos kainavo apie 83 USD/b (Kemp, 2023).

1.3.5. 2023 m. – JAV bankų krizė

2023 m. pavasaris, arba kitaip vadinama „2023 m. JAV bankų krizė“, pasižymėjo gan sudėtingu laikotarpiu bankiniam sektoriui. 2023 m. pradžioje, kuomet JAV Federalinis rezervas gan agresyviai pakėlė palūkanų normą (nuo 4,5 % 2023 m. Sausio 31 d. iki 2024 m. 5,5 % Liepos 26 d.) (Trading Economics, 2024), norėdami suvaldyti infliaciją, o tai savo ruožtu sukėlė likvidumo problemas keliuose regioniniuose bankuose – SVB (angl. „Silicon Valley Bank“), „Signature Bank“, „First Republic Bank“ ir „Silvergate Bank“. Šių bankų bankrotų priežastis gan paprasta – po COVID-19 pandemijos, paskolos dėl žemų palūkanų normų buvo pigios, o minėti bankai pagrinde aptarnavo technologijų sektoriaus bendroves. Klientų įneštus indėlius SVB bankas investuodavo į žemo atsiperkamumo, tačiau tuo pačiu ir žemos rizikos, vyriausybės obligacijas. Šis metodas buvo veiksnus tol, kol rinkoje vyravo žemos palūkanų normos, tačiau likvidumo problemos prasidėjo kartu su centrinio banko didinama palūkanų norma. Po federalinio banko palūkanų normų padidinimo, palūkanos, gaunamos iš investuotų indėlių į obligacijas buvo žemesnės, nei palūkanų, mokamų indėlių savininkams, todėl šiuose bankuose automatiškai susidarė dideli skirtumai tarp pajamų gaunamų iš palūkanų ir to, kas turi būti išmokėta klientams. Naujienos apie SVB griūtį sukėlė šiokią tokią sumaištį rinkoje, ir klientai pradėjo atsiiminėti savo laikomus depozitus iš kitų bankų, tai savo ruožtu ir kitų minėtų bankų griūtis. Didesnės sumaišties padėjo išvengti padidintas Federalinio banko skolinimas bankams, siekiant neutralizuoti klientų atsiimtų depozitų efektus (Admati et al., 2023). Naftos rinkos į bankų griūtis sureagavo gana aštriai

– per pirmas kelias paras po SVB bankroto naujienų paskelbimo, WTI kaina nukrito 4,6 %, o BRENT – 4,1 % (Disavino, 2023). Per savaitę laiko, nuo naujienų paskelbimo, BRENT ateities sandorių kainos krito beveik 12 %, o WTI – beveik 13 % (Sanicola, L. 2023). Tokie šokai naftos kainai ir ypač ateities sandorių įverčiams yra tiesiogiai susiję su abejonėmis ekonomine padėtimi ir resurso paklausos lygiu ateityje – jei krizė nebūtų apsiribojusi tik regioniniais bankais, naftos kainos būtų kritusios dar labiau, kadangi dauguma investuotojų vis dar labai gerai pamena, kaip 2008 m. baigėsi vieno didžiausių JAV bankų „Lehman Brothers“ griūtis. Apibendrinant, nors 2023 m. Kovą įvykusios kelių regioninių JAV bankų griūtis tiesioginio poveikio naftos paklausai ir pasiūlai neturėjo, pats įvykis neigiamų naujienų pavidalu perdavė trumpalaikius, neigiamus šokus tiek nominaliai naftos kainai, tiek naftos kainų ateities sandoriams.

1.3.6. Konfliktai Artimųjų Rytų regione

2023 m. pabaiga buvo pažymėta iki šiol besitęsiančių konfliktų serijos pradžia, naftos gavybai labai svarbiame Artimųjų Rytų regione. Šis regionas turtingas gamtinėmis iškasenomis, o tai savo ruožtu pritraukia viso Pasaulio dėmesį bei interesus. Artimuosiuose Rytuose vykstantys konfliktai visuomet turi gilesnę potekstę, ne tik konfliktą tarp dviejų šalių. Į bet kokią konfliktą, vykstantį šiame regione, visuomet yra bei bus įsipainiojusios ir didžiosios Pasaulio valstybės, siekdamos užsitikrinti prieigą prie teritorijose esančių resursų. Trečiųjų Šalių konfliktai, arba dar dažnai visuomenėje vadinami „Proxy“ karai, kuomet priešingoms kariaujančioms pusėms suteikiama parama iš konkuruojančių didžiųjų Pasaulio valstybių – tokiais atvejais įprastas reiškinys. Ne išimtis ir šiandiena, kuomet naftos gavybai ir prekybai ypač svarbiame regione, situacija ypač nestabili ir sudėtinga. Paskutinė, ir šiuo metu vykstanti, Artimųjų Rytų krizė prasidėjo 2023 m. Spalio 7 d., kuomet Gazos ruožą kontroliuojanti Hamas grupuotė surengė išpuolį prieš Izraelį. Kaip atsakomąjį žingsnį, Izraelis pradeda invaziją į Gazos ruožą ir karą prieš Hamas grupuotę. Invazijai į Gaza Izraelis pagrindą turi dėl Hamas įvykdyto išpuolio, tačiau kyla daug klausimų ties jos įgyvendinimu – į tai įeina ir regiono ilgalaikė blokada, ir reidai, ir gyvenamųjų rajonų kiliminiai bombardavimai, kurie dažnu atveju gal ir pateisinami iš strateginės perspektyvos, tačiau yra totaliai radikalūs iš Ženevos konvencijos pusės. Užsitęsęs konfliktas Gazos ruože jau nebeprimena Izraelio savigynos, o labiau primena palestiniečiams skirta kolektyvinę bausmę. Dėl šių veiksmų ir iki šiol besitęsiančio konflikto, Tarptautinis Baudžiamasis Teismas (angl. *International Criminal Court*, toliau - ICC), išdavė Izraelio ministro pirmininko Benjamin Netanyahu ir buvusio gynybos ministro Yoav Gallant arešto orderius (ICC, 2024). Ironiška, tačiau šis veiksmas iššaukė tam tikrų valstybių, tokių kaip JAV, remiančių Izraelį

militaristiškai, nepasitenkinimą ir teiginius, kad sprendimas buvo skubotas ir iki galo neapsvarstytas (Reuters, 2024). Dar labiau ironiška tai, kad ICC pateiktais kaltinimais nepasitenkinimą išreiškė tos pačios valstybės, kurios sveikino to pačio ICC sprendimą išduoti arešto orderį Rusijos prezidentui Vladimirui Putinui 2022 m. (Mason ir Lewis, 2023). Vien iš to, kaip tos pačios valstybės reaguoja į ICC teismo išduodamus arešto orderius, galima pastebėti, kad šalių vyriausybės nėra linkusios nešališkai atstovauti faktams ir tiesai, o viską žiūrima per interesų prizmę – jei tarptautinės ir nešališkos organizacijos sprendimas patogus, jis tampa sveikintinu, tuo tarpu jei tik nors kažkiek nukrypstama nuo patogaus scenarijaus – prasideda kaltinimai ir iš tų pačių šalių, kurios visuomenėje pozicionuojamos kaip demokratijos ir žodžio laisvės sargai. Iš to išplaukia tik vienas esminis momentas – niekas iš tikrųjų negina nei žmogaus, nei atskiros tautos, nei visuomenės, kurios ir reiškia valstybę bei šalies suverenitetą – pirmiausia visuomet ginami interesai ir verslo perspektyvos bei ateities akcijų kainos. Kai sujungi galus ir tą supranti, Pasaulis labai greitai pasitaro tamsia vieta, kurioje mažai šviesių žiburių. Vienaip ar kitaip, konfliktas Artimųjų Rytų regione tęsiasi iki šiol, tik jo mastas nuo invazijos į Gaza pradžios gerokai išaugo. Konfliktas tarp Izraelio ir Hamas grupuotės virto konfliktu tarp Izraelio ir Arabų pasaulio – Libaną kontroliuojančios Hezbollah grupuotės, Irano, Jemene veikiančios Houthi grupuotės. Tuo tarpu, 2024 m. Gruodžio viduryje, Sirijoje griuvo daugiau nei 50 metų šalį valdęs Assadų dinastijos režimas. Šalis vėl atsidūrė ant pilietinio karo ribos, o į susidariusį galios vakuumą skuba visi – tiek Turkija, tiek JAV (Dalay, 2024), tiek ir pats Izraelis, kuris įsiveržė į Jungtinių Tautų kontroliuojamą buferinę zoną Sirijos vakaruose (Holder ir Boxerman, 2024). Atsižvelgiant į tai, kaip šiuo metu vystosi situacija Artimųjų Rytų regione, artimiausiu metu stabilumo tikėtis būtų naivu. Šiuo metu regionas turi daug neatsakytų klausimų – kaip baigsis Izraelio invazija į Gazos ruožą, ar Libaną kontroliuojanti Hezbollah grupuotė, remianti Hamas ir Palestinos valstybės idėją, vėl nepuls Izraelio, ar Iranas neeskaluos esamos situacijos, kuo baigsis permainos Sirijoje, kaip į esamą situaciją ir galimas eskalacijas reaguos Irakas, Saudo Arabija, Afganistaną valdantys Talibai ir Jemeno sukilėliai? Kaip į esamus įvykius reaguos Trumpo suformuota vyriausybė? Kaip elgsis Rusija, kuri perkelia savo techniką bei karius iš bazių Sirijoje į Libiją (Vasilyeva, 2024)? Greitos pabaigos ir stabilios santvarkos nusistovėjimo tikėtis būtų naivu, todėl galima teigti, kad šis, naftos gavybai ypač svarbus regionas, artimiausiu metu nebus stabilus nei ekonomiškai, nei politiškai. Tuo tarpu, Rusijos karių dislokacija iš Sirijos į Libiją, gali turėti tiesioginį poveikį šios šalies stabilumui, kuri gali pasigirti didžiausiais naftos ir dujų rezervais iš visų Afrikos žemyno valstybių (Mitchell ir Norways, 2024). Apibendrinant – kiekvienas teigiamas ir neigiamas politinis įvykis Artimųjų Rytų regione turi gana drastišką poveikį naftos kainos formavimuisi dėl poros kertinių priežasčių. Pirmiausia, šiame regione yra gausu naftos ir dujų išteklių – šiame regione randasi apie

48 % žinomų viso Pasaulio naftos bei apie 40 % visų žinomų dujų atsargų. Taipogi, Artimųjų Rytų regione išgaunama apie 31 % visos Pasaulio naftos (BP, 2021). Sekantis niuansas – šiame regione esančių valstybių politinis trapumas ir nestabilumas. Sujungus šiuos du faktorius, gaunamos nepatikimos, iš žaliavų eksporto besiverčiančios valstybės, kurių dėl pastovaus nestabilumo negalima vadinti patikimais prekybos partneriais. O tai savo ruožtu rinkose kuria baimes ir fobijas – ar įvykus perversmui nesutriks stabilumas žaliavos tiekimas? Ar jos bus išgaunamas tas pats kiekis, kaip ir prieš politinius pokyčius? Ar į valdžią atėjus sukilėliams, nebus nuspręsta mažinti gavybos apimtis, siekiant dirbtinai sukelti žaliavos kainą? Ar politiniai nestabilumai nepersimes į šalimis esančias valstybes ir to pasėkoje nesutriks naftos eksportas iš greta esančių valstybių? Tuo naftos kainos klausimas ir yra labai sudėtingas, kadangi jos kaina neretai diktuojama rinkos baimės, susijusios su geopolitine situacija būtent Artimųjų Rytų regione.

Apžvelgus Pasaulio įvykius, kurie per paskutinius 20 m. turėjo didžiausią poveikį naftos kainoms, galima teigti, jog kainos kartais priklauso nuo žaliavos paklausos ir pasiūlos santykio. Auganti paklausa visada lems didesnes kainas, kas matoma ir prieš 2008 m. metų krizę bei priešingai – susitraukusi paklausa lems mažėjančias kainas. Analogiška situacija matoma ir COVID-19 pandemijos metu – sumažėjus vartojimui sumažėjo paklausa, dėl to sumažėjo ir kaina. Tačiau kainą ne visada diktuoja paklausa. Kai kuriais atvejais tai daro rinkai siūlomas kiekis, ką matome ir skalūnų revoliucijos, arba Saudo Arabijos bei Rusijos naftos kainų karo atveju. Padidinus gavybą ir rinkoje susidarius pertekliui, kaina krenta. Su pasiūla egzistuoja ir kita problema – politinės rizikos ir jų sukelti nestabilumai naftą išgaunančiose šalyse. Geriausiai to pavyzdžiu per paskutinius 20 m. tapo Rusijos ir Ukrainos karas, kuris rinkas privertė nerimauti dėl galimo naftos trūkumo, vakarų valstybėms įvedus sankcijas ir atsisakius rusiškos naftos. Kol rusiška nafta nebuvo pakeista, kainos kilo, tačiau šalims persiorientavus į Artimuosius Rytus ir Aziją, kainos stabilizavosi. Naftos kainų šokai ir per dideli svyravimai nėra teigiamas reiškinys nei paklausą, nei pasiūlą formuojančioms šalims. Kaip naftos kainų situacija vystysis žvelgiant iš geopolitinės perspektyvos, pasakyti labai sudėtinga. Nafta tikrai pils, jei baigsis karas Ukrainoje ir bus nuimtos sankcijos rusiškai naftai. Ji tikrai pils, jei bus deeskaluota susidariusi situacija Artimųjų Rytų regione. Ateityje ji gali pigti ir dėl naujai išrinkto JAV prezidento Donaldo Trumpo politikos, kurios tikslas didinti naftos gavybą (Renshaw, 2024) ir versti Europos Sąjungos nares didinti naftos ir dujų importą iš JAV, grasinant didesniais importo tarifais europietiškomis prekėms (Hancock et al., 2024). Tačiau iš esamos perspektyvos, egzistuoja nemažai galimybių geopolitiniams įvykiams ir pokyčiams, kurie naftos kainas gali labai reikšmingai pakelti. Vienas iš blogiausių scenarijų - Kinijos bei JAV karštojo konflikto galimybė dėl Taivano. Toks konfliktas gali būti ypač dramatiškas ne tik abejoms pusėms, tačiau ir Artimųjų Rytų regionui bei Europai,

kadangi bet koks Kinijos ir JAV konfliktas sudarytų sąlygas platesnei Rusijos agresijai Europoje, bei atrištų rankas Iranui. Jei sutriktų naftos gavyba arba transportavimas dėl šių priežasčių, stiprus naftos kainų augimas būtų neišvengiamas. 2024 m. gale iš tikrųjų esame ant šios tokios nežinomybės slenksčio – nelengva pasakyti, kaip Pasaulis atrodys sekančiais metais arba kelerių metų laikotarpiu. Esame geopolitinėje kryžkelėje ir pasakyti, ar esama situacija eskaluosis, ar deeskaluosis, numatyti sudėtinga, tačiau nuo išeigos gali labai priklausyti, kokia trajektorija judės naftos kainos – ar jos mažės, laikysis stabilios, ar augs.

Pagrindinis gamintojų tikslas yra nustatyti, koks kiekis naftos turi būti kasamas ir už kokią kainą jis turi būti parduodamas, siekiant išvengti pernelyg didelių kainų svyravimų, kurie gali iššaukti neigiamus ekonominius padarinius tiek naftą eksportuojančiose, tiek importuojančiose valstybėse. Tam išsiaiškinti, reikalingi naftos paklausos ir kainos nustatymo modeliai, tačiau visos prognozės turi būti tuo pačiu pagrindžiamos ir iš geopolitinės pusės, kadangi rinkos dinamikos ir jų pokyčiai gali būti struktūrizuoti iki tam tikrų geopolitinių įvykių, turinčių tiesioginį poveikį naftos kainoms ir jų dinamikų pokyčiams.

1.4. Naftos kainos nustatymo bei prognozavimo modeliai

Poskyryje bus atliekama mokslinių šaltinių ir literatūros analizė, kuriuose aprašomi naftos kainos nustatymo ir prognozavimo modeliai siekiant išsiaiškinti pagrindines modelių prielaidas, taikomas analizės ir tyrimo metodikas, mokslininkų pasirenkamus modelius ir jų struktūras. Pastarąjį dešimtmetį stipriai išpopuliarėjo hibridiniais modeliai, derinantys tiesines ir netiesines funkcijas, kuriomis siekiama tiksliau užfiksuoti chaotišką naftos kainos judėjimą. Dažnu atveju šie modeliai įkomponuoja ir neuroninių arba giliojo mąstymo tinklų struktūras, tačiau kai kurie mokslininkai vis dar atlieka pakankamai sėkmingus tyrimus ir su tradiciniais modeliais, tokiais kaip ARIMA, RW, VAR ar VECM.

1.4.1. Giliuoju mokymusi paremtas modelis

2017 m. Kinijos mokslininkai Y. Chen, K. He ir G. Tso atliko giliuoju mokymusi pagrįstų naftos kainos prognozavimo modelių tyrimą. Nagrinėti hibridiniai modeliai, sudaryti iš gilaus tikėjimo tinklo (toliau DBN (angl. *Deep Belief Network*)), ilgalaikės-trumpalaikės atminties (toliau LSTM (angl. *Long Short Term Memory*)) bei tradicinių - atsitiktinio klaidžiojimo (toliau RW (angl. *Random Walk*)) ir autoregresinio, slankiųjų vidurkių (toliau ARMA (angl. *Autoregressive Moving Average*)) modelių kombinacijų (Chen et al. 2017). Tokia konstrukcija

pasirinkta atsižvelgiant į faktą, jog naftos kaina nėra tiesiška, o tradiciniai modeliai negeba tiksliai užfiksuoti netiesinių dinaminų pokyčių. Kombinacijas sudaro RW arba ARMA modelis, kurio tikslas naftos kainos eilutėje užfiksuoti tiesines funkcijas ir DBN arba LSTM modelis su tikslu užfiksuoti netiesines funkcijas. Galiausiai dviejų modelių kombinacijos prognozės yra sudedamos lygiais svoriais su prielaida, jog kainos judėjimas turi tiek tiesinę, tiek netiesinę dinamiką. Iš to išplaukia ir tyrime pateikiama formulė (1):

$$Y_t = \omega_{lm}\widehat{r_{lm}} + \omega_{nlm}\widehat{r_{nlm}} \quad (1)$$

Kur:

ω_{lm} – tiesinio modelio (ARMA/RW) prognozės svoris. Tyrime daroma prielaida, jog kainos tiesinė ir netiesinė dinamika turi vienodą poveikį, todėl abi ω lygyje lygios 0,5;

$\widehat{r_{lm}}$ - tiesinio modelio prognozės reikšmės;

ω_{nlm} – netiesinio modelio (DBN/LSTM) prognozės svoris ($\omega_{nlm} = 0,5$);

$\widehat{r_{nlm}}$ - netiesinio modelio prognozės reikšmės.

Tyrimui atlikti buvo naudojami dieniniai WTI naftos kainos duomenys nuo 2007 m. Liepos 23 d. iki 2017 m. Vasario 24 d., kurie buvo logaritmuoti ir diferencijuoti, siekiant pašalinti trendo faktorių. Gautą laiko eilutę sudarė 2409 elementai, iš kurių 70 % buvo skirti DBN/LSTM modeliams apmokinti, o likę 30 % - sudarytų modelių prognozėms įvertinti. Atlikus tyrimus, buvo sudarytas modelių palyginimas/vertinimas pagal vidutinę kvadratinę paklaidą (MSE):

1 Lentelė: Tyrime sudarytų modelių vidutinės kvadratinės paklaidos

Modelis:	RW	ARMA	DBN	RW-DBN	ARMA-DBN	LSTM	RW-LSTM	ARMA-LSTM
MS Ex10 ⁻⁴	5.3235	5.4753	5.3236	5.3224	5.3811	5.5219	5.3868	5.4504

Šaltinis: Sudaryta autoriaus pagal Chen et al., 2017.

Tyrimo metu buvo nustatyta, jog RW/ARMA ir gilioju mokymusi paremtų modelių (DBN/LSTM) kombinacijos patobulina prognozių tikslumą lyginant su tradiciniais RW ir ARMA modeliais, o geriausiai buvo įvertinta RW-DBN modelių kombinacija, turinti mažiausią vidutinę kvadratinę paklaidą.

1.4.2. Hibridinis ESM/ARIMA/NAR modelis su nuo laiko kintančiais svoriais

Kinijos mokslininkai nėra vieninteliai, kurie nagrinėja hibridinių modelių taikymą naftos kainos prognozavimo tikslumui pagerinti. 2018 m. Irano mokslininkai Ali Safari ir Maryam

Davallou išleido straipsnį, kuriame siūlomas hibridinis modelis (toliau – PHM (angl. *Proposed Hybrid Model*)) susidaro iš 3 atskirų modelių prognozių verčių sumos su nuo laiko kintančiais modelių svoriais (Safari ir Davallou, 2018). Toliau pateikiama siūlomo PHM modelio formulė (2):

$$\hat{Y}_{Hybrid(t)} = (w_1)_t \hat{Y}_{ESM(t)} + (w_2)_t \hat{Y}_{ARIMA(t)} + (w_3)_t \hat{Y}_{NAR(t)} \quad (2)$$

Kur:

$\hat{Y}_{ESM(t)}$ – Eksponentinio išlyginimo (ESM) modelio (angl. *Exponential Smoothing Model*) prognozės reikšmės;

$\hat{Y}_{ARIMA(t)}$ – Autoregresinio integruoto slankiojo vidurkio (ARIMA) modelio (angl. *Autoregressive Integrated Moving Average Model*) prognozės reikšmės;

$\hat{Y}_{NAR(t)}$ – Netiesinio autoregresinio neuroninio tinklo (NAR) modelio (angl. *Nonlinear Autoregressive Neural Network*) prognozės reikšmės.

$(w_1)_t, (w_2)_t, (w_3)_t$ – ESM, ARIMA, NAR modelių svoriai t-tuoju periodu. Hibridiniai modeliai su pastoviais atskirų modelių svoriais dažniausiai negeneruoja tikslių rezultatų, todėl tyrime juos buvo pasirinkta naudoti kintamus. PHM sistemą sudarančių modelių svoriai t-tajam periodui nustatomi pasitelkiant Kalmano filtrus (angl. Kalman Filters) Būsenos-Erdvės sistemai (angl. State-Space System).

Sukurtas modelis buvo panaudotas OPEC naftos kainos prognozei sudaryti. Tyrime panaudoti mėnesiniai OPEC kainos duomenys nuo 2003 m. Sausio iki 2016 m. Rugsėjo. Iš viso laiko eilutę sudarė 165 elementai, padalinti į dvi grupes. Pirmu atveju, 80 % laiko eilutės buvo skirta ESM/ARIMA parametrų nustatymui ir NAR modeliui apmokymui, o likę 20 % - PHM modelio prognozės rezultatams palyginti ir tikslumui įvertinti. Antru atveju bandymas buvo pakartotas 90 % laiko eilutės skiriant parametrų nustatymui, o 10 % - gautos prognozės vertėms įvertinti. Atlikus tyrimus, Safari ir Davallou nustatė, jog PHM hibridinis modelis su kintamais svoriais, turi mažesnes paklaidas ir aukštesnį tikslumą lyginant su atskirais ARIMA, ESM, NAR, EWH, GWH ir ZHM modeliais. Iš architektūros pusės PHM modelis labai panašus į 1.4.1. skyriuje nagrinėtą RW-DBN modelį, kadangi abiejų tyrimų tikslas – sukurti sistemas, gebančias užfiksuoti tiek tiesinį, tiek netiesinį kainos judėjimą. Pagrindinis ir didžiausias skirtumas – RW-DBN modelis naudoja fiksuotus svorius, o PHM – kintamus priklausomai periodo. PHM modelio autoriai teigia, jog būtent nuo laiko kintančių modelių svorių (w) taikymas turėjo didžiausią poveikį išaugusiam prognozės tikslumui.

1.4.3. Neraiškių laiko eilučių ir didžiausiojo sveikųjų skaičiaus funkcijos modelis

2022 metais Turkijos mokslininkai Oznur Kaymak ir Yigit Kaymak pristatė 2 etapų WTI naftos kainos prognozavimo modelį (Kaymak ir Kaymak, 2022). Skirtingai nei anksčiau nagrinėti Kinijos bei Irano mokslininkų modeliai, šis modelis nėra hibridinis ir nenaudoja dirbtinių neuroninių tinklų, tačiau turi tą patį tikslą – užfiksuoti kainos dinamikos pokyčių tiesines ir netiesines charakteristikas. Taipogi, skiriasi naudojamų duomenų tipas. Ankstesni modeliai nagrinėja mėnesines kainas ir ima ilgesnius nei 10 m. laikotarpius modeliams apmokyti. Šiuo atveju tyrimui atlikti buvo panaudota vienerių metų dieninė uždarymo WTI kaina nuo 2020 m. Sausio 2 d. iki 2020 Gruodžio 31 d. (iš viso 250 reikšmių), o modelio testavimas atliktas panaudojus 2021 m. duomenis (viso 249 reikšmės). Verta paminėti, jog 2020 m. Balandžio 20 d. pasiekta neigiama WTI kaina į pradinę laiko eilutę nėra įtraukta.

Turkų atliktame tyrime siūlomas modelis remiasi pakankamai senomis teorijomis – pirmuoju etapu duomenys apdorojami pasitelkus neraiškias laiko eilutes (angl. *Fuzzy Time Series*). Tai dinaminis procesas, kurio reikšmės ir stebėjimai apibūdinami kalbinėmis reikšmėmis (Song ir Chissom, 1993). Pagrindiniai šio proceso privalumai – įskaitomumas, valdomumas, paprastumas ir galimybė nesunkiai keisti proceso mastelį (Silva, 2018). Toliau pateikiama pirmo etapo formulė (3), tyrime skirta gauti prognozuojamas (angl. *Forecast Data*) neraiškių laiko eilučių reikšmes:

$$\text{Forecast Data} = L_{df}(t) \times W_n(t) \quad (3)$$

Kur:

$L_{df}(t)$ – kalbinės sklaidos centro matrica;

$W_n(t)$ – standartizuota svorių matrica.

Šis veiksmas sugeneruoja pradinės prognozės reikšmės, kurioms tyrime pritaikius auksinės prognozės GF (angl. Golden Forecast) formulę (4) gaunamos ilgalaikės prognozės (angl. *Long-term Forecasting*) reikšmės t -tajam periodui:

$$GF(t) = Pt_{last} + \tau(Forecast(t) - P(t_{last} - 1)) - \tau(Forecast(t - 1) - P(t_{last} - 2)) \quad (4)$$

Kur:

$$\pm\tau = \pm \frac{1-\sqrt{5}}{2} = \pm 0,61803$$

$Forecast(t)$ – pradinės prognozės t -tojo periodo reikšmės gautos iš (3) formulės;

P – WTI naftos kaina t -tuoju periodu.

2-oje modelio fazėje, dirbama su 4-oje formulėje gautomis ilgalaikės prognozės reikšmėmis. Joms pritaikoma toliau esanti didžiausio sveikojo skaičiaus funkcija (angl. *Greatest Integer Function*):

$$f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}, f(\chi) = [\chi] \quad (5)$$

Kur:

$$\chi = WTI \text{ kaina}(t - 1) - GF(t) \quad (6)$$

Tada gaunamos galutinės, sekančios dienos WTI naftos kainos (7):

$$DFV(t) = GF(t) + \chi \quad (7)$$

Kur:

$DFV(t)$ – t-tosios dienos prognozės reikšmė;

$GF(t)$ – t-tosios dienos auksinės prognozės (4) reikšmė;

χ – didžiausio sveiko skaičiaus funkcijos (6) reikšmė.

Tyrime gauti prognozės rezultatai buvo palyginti su kitais – Fibonačio sekos (angl. *Fibonacci Model*), Aukso pjūvio (angl. *Golden Ratio*), SVM bei ANN modeliais pasitelkiant RSME ir MAE paklaidas. Šie rezultatai matomi toliau esančioje 2-oje lentelėje:

2 Lentelė: Kaymak ir Kaymak modelio palyginimas su kitais modeliais

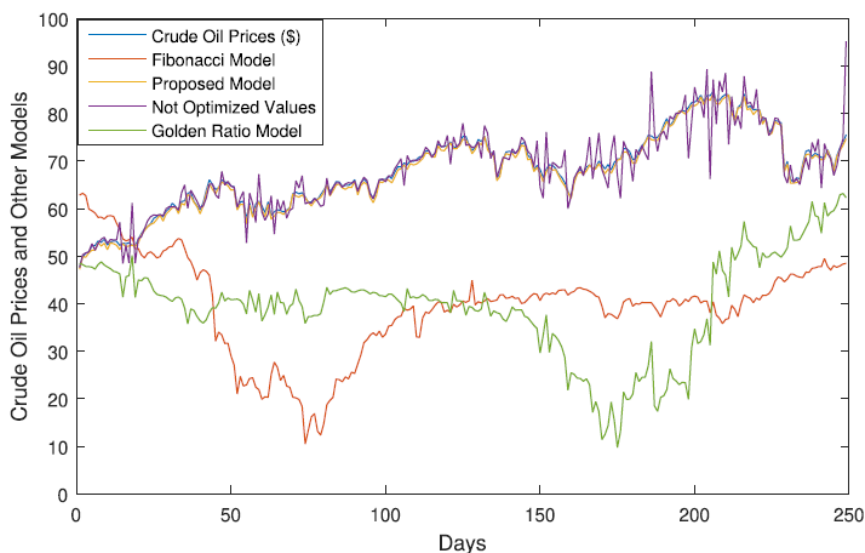
Modelis:	Periodas:	RMSE:	MAE:
Fibonači modelis	02/01/2020–31/12/2021	2.4600	1.3239
Aukso pjūvio modelis	02/01/2020–31/12/2021	19.7216	18.3263
Oznur Kaymak ir Yigit Kaymak modelis	02/01/2020–31/12/2021	0.6018	0.5295
SVM	02/01/2020–31/12/2021	17.6635	15.4211
ANN	02/01/2020–31/12/2021	17.6542	15.4046

Šaltinis: Sudaryta autoriaus pagal Kaymak ir Kaymak, 2022.

Oznur Kaymak ir Yigit Kaymak modelio rezultatai turi žemesnes RMSE ir MAE paklaidas nei kiti lyginami modeliai. Svarbu pabrėžti, kad siūlomo modelio paklaidos žemesnės ir už SVM bei ANN modelius, kurie priskiriami moderniems modeliavimo metodams. Lyginant su 1.4.1. ir 1.4.2. poskyriuose aptartais modeliais, šis modelis pasižymi gerokai žemesniu kompleksiskumo lygiu, aukštu tikslumu ir gebėjimu atlikti tikslias prognozes turint vienerių metų laiko eilutę. O tai savo ruožtu parodo, jog tiksliai prognozei sukurti ne visada nereikalingi labai

nuo pradinio prognozės taško nutolę periodai ir aukštas modelio kompleksiško lygis. Toliau esančiame 3 paveikslyje pateikiama tyrimo metu sudarytos modelio prognozės palyginimas su realiais duomenimis bei kitais lyginamais modeliais:

3 pav. Siūlomo modelio prognozės palyginimas su realiais duomenimis ir kitais modeliais



Šaltinis: Kaymak ir Kaymak, 2022.

Anksčiau esančiame paveiksle geltona linija indikuoja Kaymak ir Kaymak siūlomą neaiškių laiko eilučių ir didžiausio sveiko skaičiaus funkcijos modelio prognozę, tuo tarpu mėlyna – realias naftas kainas. Šio modelio gauti duomenys geba išlaikyti labai mažą atstumą nuo realių kainų laiko eilutės ir itin tiksliai atkartoja dinaminčius pokyčius. Atsižvelgiant į pakankamai žemą kompleksškumą lyginant su SVM/ANN/LSTM/DBN modeliais ir labai aukštą tikslumą, galima teigti, jog šis modelis yra geresnis nei hibridiniai modeliai su svoriais tiesinėms ir netiesinėms funkcijoms.

1.4.4. Naftos paklausos prognozavimo modelis pagal įrangos kiekį

Paklausa formuoja pasiūlą ir atvirkščiai, todėl kainos prognozės nėra vienintelis rodiklis, kuriuo remiantis galima daryti išvadas apie naftos rinką. Realiai situacijai pamatyti, reikalinga ir naftos paklausos analizė bei prognozė, kadangi pagal paklausos prognozes OPEC organizacija ir nustatinėja organizacijai priklausančių šalių gamybos kvotas bei pardavimo kainas. 1989 m. Šveicarijos mokslininkai F. Carlevaro, F. Romeo, C. Spierer ir J. Gault atliko tyrimą, kurio metu buvo siekiama sumodeliuoti trumpalaikio periodo paklausą naftai, remiantis prielaida, jog naftos paklausa tiesiogiai priklauso nuo pasaulyje esančių transporto priemonių ir mechanizmų kiekio,

kurių funkcionavimui reikalingi naftos produktai (Carlevaro et al., 1989). Toliau pateikiama (8) formulė, apibendrinanti pagrindinę tyrimo prielaidą:

$$q_t = f(S_t, X_t) \quad (8)$$

Kur:

q_t – naftos paklausa Pasaulyje t-tuoju periodu;

S_t – transporto priemonių ir mechanizmų, naudojančių naftos produktų kiekis;

X_t – vektorius, talpinantis ekonominius (pvz. naftos kainos variacijos, kurios gali privesti prie energijos taupymo) ir neekonominius (pvz. klimatinės sąlygos) faktorius, turinčius poveikį naftos kainoms.

Tyrimė daroma prielaida, jog egzistuoja ilgalaikis transporto priemonių ir mechanizmų (S_t) pusiausvyros lygis, kuris nuolatos kinta. Trumpalaikė paklausa ir įrangos augimo procesas kartu apibrėžia dinaminis modelius, kurie paaiškina naftos paklausos pokyčius pagal trumpalaikių ir ilgalaikių veiksnių praeities bei dabarties reikšmes. Toliau pateikiama galutinė formulė (9), kuria remiantis autoriai atliko naftos paklausos Pasaulyje tyrimą ir prognozę:

$$Y_t = a_0 + a_1(1 - k)^t + \sum_{j=1}^m a_2^j F_j(X_t^j) + \sum_{j=1}^n a_3^j \bar{G}_t^{-j}(k) + U_t \quad (9)$$

Kur:

Y_t – naftos paklausa Pasaulyje t-tuoju periodu;

a_0 – parodo bazinį naftos paklausos lygį, kuomet visi kiti veiksniai yra lygūs 0;

$a_1(1 - k)^t$ – praėjusių periodų poveikis t-tajam periodui, k – greičio mažėjimo koeficientas;

$\sum_{j=1}^m a_2^j F_j(X_t^j)$ – funkcijų F_j suma, taikoma kintamiesiems X_t^j , ir kurių kiekvienos svoris a_2^j . Ši (9) lygties dalis atspindi įvairius ekonominius ir neekonominius veiksnius, turinčius poveikį naftos paklausai trumpalaikiu laikotarpiu;

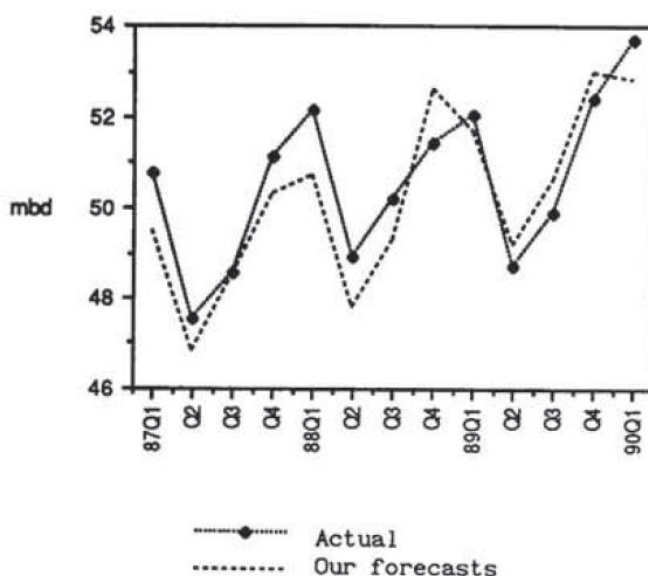
$\sum_{j=1}^n a_3^j \bar{G}_t^{-j}(k)$ – funkcijų $\bar{G}_t^{-j}$ suma, taikoma koeficientui k , ir kurių kiekvienos svoris a_3^j . Ši (9) lygties dalis fiksuoja ilgalaikes tendencijas, turinčias poveikio naftos kainoms.

U_t – paklaida t-tuoju periodu, kuri atspindi atsitiktinius naftos paklausos svyravimus arba nepaaiškinamą dispersiją laiko momentu t .

Tyrimė buvo panaudotas 1987 m. kiekvienos šalies naftos suvartojimas milijonais barelių per dieną, o pačios šalys buvo suskirstytos pagal regionus ir faktą, ar priklauso OECD organizacijai, ar ne. OECD šalių duomenys sugrupuoti pagal Šiaurės Amerikos, Vakarų Europos,

Ramiojo vandenyno regiono. Pietų Amerikos, Afrikos, Artimųjų Rytų ir Azijos regionų duomenys buvo imami iš TOTAL-CFP duomenų bazės. Pasitelkus šiuos duomenis bei sudėjus atskirų regionų prognozių rezultatus, buvo gauti Pasaulio naftos paklausos prognozės rezultatai 1988, 1989 ir 1990 metų ketvirčiams. Tyrime gauti rezultatai pateikiami toliau esančiame 3 paveikslėlyje, kur jie palyginami su realiais duomenimis:

4 pav. 1989 m. Sukurto naftos paklausos prognozavimo modelio rezultatai



Šaltinis: Carlevaro et al., 1989.

Pateiktas modelis pakankamai neblogai atkartoja Pasaulinės naftos paklausos kitimo dinamiką, tačiau kaip teigia patys mokslininkai, rezultatai nėra idealūs. Modelis gana neblogai simuliuoja grafike matomus ciklus, tačiau prastai modeliuoja jų pikus. Taipogi, grafike tarp 1989 m. Q3 ir Q4 matomas prognozės lūžis ir noras kartoti prieš tai buvusį cikliškumą, nors realūs duomenys indikuoja tolimesnį augimą. Tai gali būti susiję ir su tyrime taikoma prielaida, jog egzistuoja mašinų bei mechanizmų pusiausvyros lygis, kuris modelyje galimai nesikeičia pakankamai greitai. Patys autoriai teigia, jog tyrimo rezultatams turėjo pačių duomenų kokybė, kadangi net ir aukštą reputaciją turintys šaltiniai pateikia nenuoseklius duomenis su daug nepaaiškintų pertvarkymų tiek suvartotos naftos, tiek įprastų ekonominių rodiklių, tokių kaip BVP, atveju. Kitas svarbus momentas, galėjęs turėti neigiamą poveikį rezultatų tikslumui – tyrimo atlikimo laikotarpis. 1989 m. Europoje prasidėjo Šaltojo karo pabaiga, kuomet griuvo Berlyno siena, o Sovietų Sąjunga artėjo prie savo subyrėjimo. 1989-1990 m. vykę geopolitiniai pokyčiai galėjo turėti poveikį gautiems rezultatams, kadangi tai buvo sunkiai prognozuojamas ir nuspėjamas laikotarpis, tačiau pats modelis, jo struktūra ir logika aktuali ir šiandien.

1.4.5. ARIMA modelis trumpojo periodo prognozavimui

2013 m. Kinijos mokslininkai Ying Xiang ir Xiaohong Zhuang trumpalaikėms naftos kainos prognozėms sukurti sukonstravo tradicinį autoregresinį integruotų slankiųjų vidurkių modelį $ARIMA(p, d, q)$ (Zhuang ir Xiang, 2013). Tyrimas ir prognozė buvo atlikta naudojant dienes Brent naftos kainas nuo 2012 m. Lapkričio iki 2013 m. Balandžio. Kadangi naftos kainos laiko eilutė nėra stacionari, duomenys buvo vieną kartą diferencijuoti siekiant patenkinti baltojo triukšmo sąlygą, todėl $d = 1$. Mažiausiojo kvadrato metodu buvo parinktas 1 eilės AR ($p = 1$) su 1 slankiuoju vidurkiu MA ($q = 1$). Sutrumpintai tyrime pasiūlytas modelis aprašomas kaip $ARIMA(1, 1, 1)$, o toliau esančioje (10) formulėje pateikiama matematinė šio modelio išraiška:

$$\Delta Y_t = \alpha_1 \times \Delta Y_{t-1} + \varepsilon_t - \theta_1 \times \varepsilon_{t-1} \quad (10)$$

Kur:

ΔY_t – diferencijuota naftos kaina t -tuoju periodu;

α_1 – AR(1) konstanta;

ΔY_{t-1} – diferencijuota naftos kaina $t-1$ periodu;

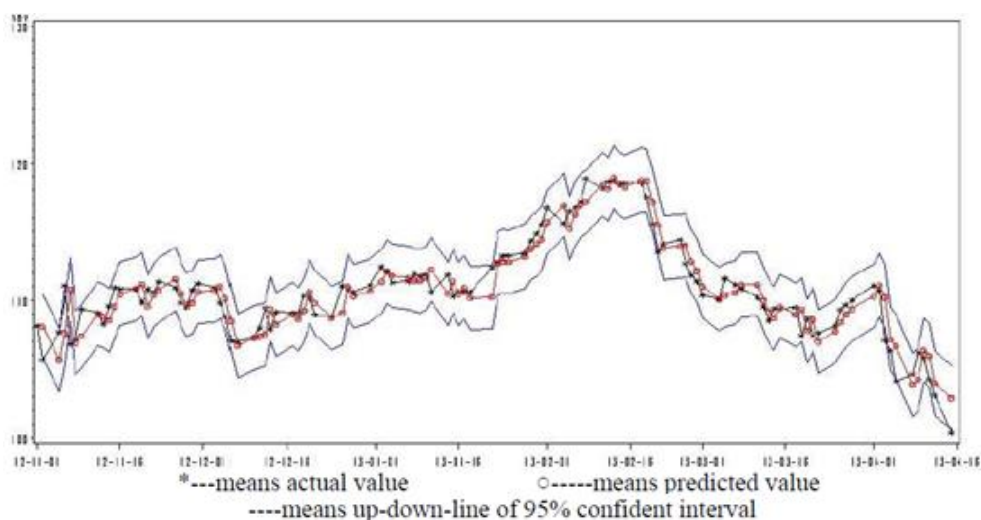
ε_t – baltojo triukšmo paklaida t -tuoju periodu;

θ_1 – slankiojo vidurkio MA(1) koeficientas;

ε_{t-1} – baltojo triukšmo paklaida $t-1$ periodu.

Atlikto tyrimo rezultatai nėra palyginami su kitais modeliais priešingai nei 1, 2 ar 3-ame 1.4. skyriaus poskyriuose, tačiau toliau esančiame 5-ame paveiksle pateikiamas kinų mokslininkų sudaryto modelio prognozės grafinis palyginimas su realiais duomenimis:

5 pav. $ARIMA(1, 1, 1)$ modelio prognozės palyginimas su realiais duomenimis



Šaltinis: Zhuang ir Xiang, 2013.

Pagal tyrime pateiktą prognozės ir realių duomenų grafiką matoma, jog parinktas ARIMA modelis pakankamai tiksliai replikuoja realius duomenis ir gerai užfiksuoja Brent naftos kitimo dinamiką. Todėl galima teigti, jog kinų mokslininkų Xiang ir Zhuang pateiktas modelis yra tinkamas atlikti trumpalaikės naftos kainos prognozes. Taipogi, verta paminėti, jog gaunami gana tikslūs rezultatai naudojant palyginus labai paprastą struktūrą, ypač lyginant su hibridiniais modeliais, kurie dažnu atveju savyje turi pakankamai kompleksiškus neuroninių tinklų arba giliojo mąstymo darinius.

1.4.6. Laike kintantis vektorinės autoregresijos (TVP-VAR) modelis naftos kainos prognozavimui

2021 m. lenkų mokslininkas Krzysztof Drachal išleido mokslinį straipsnį, kuriame siekiama prognozuoti mėnesinę WTI naftos kainą taikant nuo laiko kintančius vektorinės autoregresijos modelius (TVP-VAR) (Drachal, 2021). Esminė, Drachal sudaryto modelio dalis – modelio koeficientai laikui bėgant nėra statiški, tačiau kintantys, o tai savo ruožtu modeliui leidžia prisitaikyti prie kintančių duomenų ir santykių tarp kintamųjų. Modelio dinamiškumas, priklausomas nuo laiko, gaunamas į VAR įtraukiant dinaminį modelio pasirinkimą (DMS). Tai labai naudinga savybė, kuomet kalbama apie naftą, kurios kaina ir kitimo dinamika, dėl stipraus sąryšio su politika, kartais ypač nepastovi. 11-oje formulėje pateikiama straipsnyje aprašyto DMS-VAR modelio formulė:

$$\Delta Y_t = c_t + \sum_{i=1}^p A_{i,t} Y_{t-i} + \sum_{j=1}^q B_{j,t} X_{t-j} + \varepsilon_t \quad (11)$$

Kur:

ΔY_t – Prognozuojamų kintamųjų vektorius;

c_t – laike kintančių konstantų vektorius;

$A_{i,t}$ – laike kintančių koeficientų matricos diferencijuotiems endogeniniams kintamiesiems Y_{t-i} ;

X_t – priklausomų kintamųjų, turinčių poveikį sistemai, vektorius;

$B_{i,t}$ – laike kintančių koeficientų matricos diferencijuotiems priklausomiems kintamiesiems X_{t-j} ;

ε_t – baltojo triukšmo paklaida t -tuoju periodu;

Pagrindinė tyrimo išvada – DMS-VAR modelis gauna rezultatus, kurie yra apie 16 % procentų tikslesni, lyginant su ARIMA modelių gautais rezultatais. Esminis ir didžiausias šio metodo pranašumas - gebėjimas prisitaikyti prie nepastovių ir dažnai gan chaotiškų naftos rinkų.

1.4.7. Naftos paklausos prognozavimo modelis, pagrįstas kointegruotumu ir vektoriniu paklaidos korekcijos modeliu (VECM)

2008 m. Xiong ir Wu išleido straipsnį, kurio tikslas – sukurti modelį, gebantį prognozuoti Kinijos naftos paklausą bei išanalizuoti paklausai poveikį turinčius veiksniai. Tyrimo pagrindas labai paprastas – Kinija ypač sparčiai auganti ekonomika, o tai savo ruožtu nulemia ir augančią paklausą naftos produkcijai. Kadangi vidiniai šalies ištekliai per menki patenkinti Kinijos poreikius, susiformuoja priklausomybė nuo žaliavos importo. Siekiant užtikrinti energetinį saugumą ir tvarumą, reikalinga tam tikra politika, tačiau sėkmingam jos įgyvendinimui, būtinas suvokimas, koks yra naftos poreikis, koks jis gali būti ateityje ir kokie faktoriai lemia jos paklausą. Tam išsiaiškinti ir rezultatams pasiekti, autoriai pasirenka kelis kintamuosius – BVP, populiacijos dydį, pramonės sektoriaus dalį nuo BVP procentine išraiška bei naftos kainą. Autoriams atlikus Johanseno kointegruotumo testą, buvo nustatyta, kad pasirinkti kintamieji sukuria 3 kointegruojančius vektorius, todėl tyrimui atlikti buvo pasirinktas ir sudarytas VECM modelis (Xiong ir Wu, 2008) (12):

$$\begin{aligned} \Delta LOD_t = & -1,70VECM_{t-1} + 0,68\Delta LOD_{t-1} + 0,12\Delta LGDP_{t-1} + \\ & 12,8\Delta LPOP_{t-1} - 0,74\Delta LSI_{t-1} + 0,08\Delta LP_{t-1} \end{aligned} \quad (12)$$

Kur:

$\Delta VECM_{t-1}$ – vektorinės paklaidos korekcija;

ΔLOD_{t-1} – naftos paklausos praeities pokytis;

$\Delta LGDP_{t-1}$ – BVP praeities skirtumai;

$\Delta LPOP_{t-1}$ – populiacijos dydžio praeities skirtumai;

ΔLSI_{t-1} – industrijos dydžio nuo BVP praeities skirtumai;

ΔLP_{t-1} – kainos praeities skirtumai;

Autoriai testavo sudarytą modelį pasitelkiant metinius, istorinius 2005-2007 m. duomenis ir gavo pakankamai tikslias prognozes praeities periodams. Pagrindinės tyrimo išvados – sudarytas VECM modelis geba pakankamai tiksliai prognozuoti Kinijos naftos paklausą, ir buvo atlikta prognozė 12-kai periodų į priekį, kuri teigė, kad naftos paklausa Kinijoje 2020 m. sieks 0,599 mlrd. t. Šis tyrimas ne tik aprėpia naftos žaliavos modeliavimo klausimą, tačiau ir pateikia

rekomendacijas atsakingiems politikos formuotojams, kuriomis siūloma investuoti į naftos projektus užsienio rinkose, tobulinti energetinį efektyvumą bei plėtoti alternatyvius energijos šaltinius, siekiant sumažinti Kinijos energetinę priklausomybę nuo užsienio rinkų, kurios linkusios susidurti su įvairiais šokais.

2. NAFTOS KAINOS MODELIAVIMAS

1-oje dalyje buvo aptarta naftos žaliavos svarba Pasaulio ekonomikai ir paminėti svarbiausi bei didžiausią poveikį naftos kainos pokyčiams turėję įvykiai. Taipogi, literatūros analizės metu buvo aptartas įvairių šalių mokslininkų indėlis į naftos kainos prognozavimą. 2-oje darbo dalyje bus sudaromi vektorinės autoregresijos (VAR) ir vektoriniai paklaidos korekcijos modeliai (VECM), kuriais siekiama užfiksuoti netiesišką ir chaotišką WTI (angl. *West Texas Intermediate*) naftos kainos judėjimą. Skyrius susideda iš 4 dalių – tyrimui reikalingų duomenų pirminės analizės, VAR ir VECM modelių sudarymo bei gautų prognozių įvertinimo. Tyrimas atliekamas pasitelkiant „R Studio“ programą.

2.1. Pirminė duomenų analizė

2.1.1. Kintamųjų aprašymas

WTI naftos kainos modeliavimui skirtų VAR ir VECM modelių sudarymui iš viso buvo panaudota 13 kintamųjų, paimtų iš JAV esančio St. Louis federalinio rezervų banko (FRED), JAV Energetikos informacijos administracijos (EIA), OPEC, „Investing.com“ ir „S&P Global“ duomenų bazių. Modeliavimai buvo atliekami su mėnesiniais vidurkiniais duomenimis, nuo 2015 m. Sausio mėn. iki 2023 m. Gruodžio mėn. Toliau išvardinami modelių konstravimui panaudoti kintamieji:

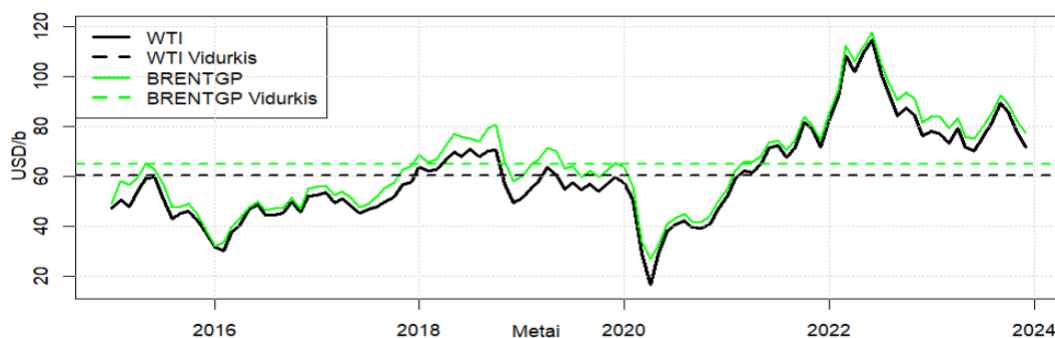
1. WTI naftos kaina už 1 naftos barelį JAV doleriais (trumpinys – WTI) - nustatoma pagal SPOT kainas Oklahomos valstijoje esančiame Cushing mieste (FRED, 2024);
2. WTI naftos kainos ateities sandoriai (angl. *Futures*) (trumpinys – WTIF). Kaina nurodoma JAV doleriais už 1 naftos barelį, o sandoriais prekiaujama Niujorko žaliavų biržoje NYMEX (angl. *New York Mercantile Exchange*) (Investing, 2024);
3. WTI naftos gavybos apimtys JAV telkiniuose (trumpinys – WTIBDMLN). Matuojamas tūkstančiais barelių per dieną (EIA, 2024);
4. Globali BRENT naftos kaina (trumpinys – BRENTGP) - vienas iš pagrindinių naftos kainos etalonų tarptautinėje naftos rinkoje, turintis įtakos sprendimams dėl kitų naftos rūšių kainų ir atspindintis pasiūlos, paklausos ir geopolitinių veiksnių dinamiką visame pasaulyje. Kaina nurodoma JAV doleriais už 1 naftos barelį (EIA, 2014).

5. BRENT naftos ateities sandoriai (trumpinys – BRENTF). Analogiškas parametras WTIF, tik šiuo atveju vertina BRENT naftos ateities sandorius, kuriais prekiaujama „Intercontinental Exchange“ biržoje (Investing, 2024).
6. OPEC naftos gavybos apimtys (trumpinys – OPECBDMLN) - parodo, kiek OPEC organizacijai priklausančiose šalyse bendrai išgaunama naftos. Matuojamas tūkstančiais barelių per dieną (OPEC, 2024).
7. S&P 500 (trumpinys – SP500) – indeksas, sudarytas iš 500 JAV viešai prekiaujamų bendrovių pagal šių bendrovių rinkos kapitalizacijos dydį. Labai dažnai naudojamas akcijų rinkų ir investuotojų nuotaikų vertinimui bei matuojamas JAV doleriais (FRED, 2024).
8. „Dow Jones U.S. Oil and Gas“ (trumpinys – DJOG) – indeksas, skirtas įvertinti 10-ties didžiausių JAV naftos ir dujų sektoriaus įmonių akcijų rezultatus. Matuojamas JAV doleriais (S&P Global, 2024).
9. „Dow Jones Commodity Index“ (trumpinys – DJCI) - platus žaliavų rinkos ateities sandorių indeksas, stebintis 28 skirtingų žaliavų, ateities sandorių spektrą, įskaitant metalus, žemės ūkio produktus ir energetines žaliavas, tokias kaip nafta ir dujos. Matuojamas JAV doleriais (S&P Global, 2024).
10. Pramonės gamybos bendrasis indeksas (angl. *Industrial Production: Total Index*) (trumpinys – INDPRO) – matuoja įmonių, esančių Jungtinėse Valstijose, produkciją, neatsižvelgiant į jų nuosavybę. Matuojamas procentais (FRED, 2024).
11. JAV federalinių fondų efektyvi palūkanų norma (angl. *US Federal Funds Effective Rate*) (trumpinys – FEDINT) – pagrindinė palūkanų norma JAV finansų rinkoje ir daro poveikį kitoms palūkanų normoms, įskaitant ir ilgesnio laikotarpio palūkanų normoms, kurios labai svarbios vartotojų gerovei ir pasitikėjimui. Matuojama procentais (%) (FRED, 2024).
12. Nominalusis platusis JAV dolerio indeksas (angl. *Nominal Broad U.S. Dollar Index*) (trumpinys – USDIND) – JAV dolerio vertės, lyginant su kitų pagrindinių valiutų krepšeliu, matas. Naudojamas bendram JAV dolerio stiprumui arba silpumui, įvairios valiutų grupės atžvilgiu, stebėti bei leidžia suprasti valiutų rinkų tendencijas ir tarptautinės prekybos dinamiką (FRED, 2024).
13. Nuvažiuotas atstumas (angl. *Vehicle Miles Traveled*) (trumpinys – VMT) – parodo, kiek apytiksliai JAV keliuose buvo nuvažiuota mylių. Matuojamas milijonais mylių (FRED, 2024).

2.1.2. Grafinis duomenų atvaizdavimas

Grafinis duomenų atvaizdavimas ir vizuali kintamųjų analizė, pasitelkiant jų grafikus, gali padėti duomenyse identifikuoti anomalijas, cikliškumus ar tendencijas. 6 pav. pateikiami 2-jų kintamųjų – tiriamos WTI naftos (WTI) ir Pasaulinės BRENT naftos kainos (BRENTGP) grafikai:

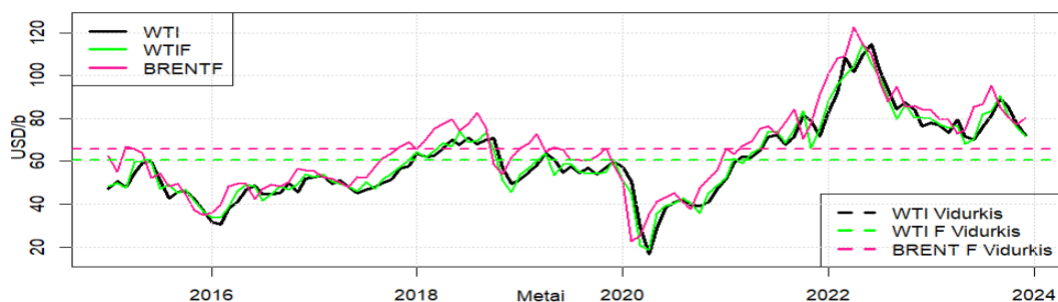
6 pav. WTI ir BRENTGP kintamųjų grafikai 2015-2024 m.



Šaltinis: Sudaryta autoriaus pagal FRED, 2024.

BRENT nafta turi labai panašią kainą ir tendencijas į WTI naftą, tačiau yra visuomet brangesnė. Taipogi, nei WTI, nei BRENTGP neturi aiškiai išreikštų augimo tendencijų ar cikliškumų, tačiau gerai matosi anomalijos, pradedant 2015 m. JAV skalūnų naftos revoliucija, baigiant 2020 m. vykusia COVID-19 pandemija bei 2022 m. energetikos krize. Laiko eilutės nėra švelnios – priešingai, jos itin chaotiškos ir dažniausiai už kiekvieno stambesnio pokyčio slepiasi naftą išgaunančių valstybių politiniai sprendimai. 7 pav. pateikiami 3 kintamųjų – WTI naftos kainos (WTI), WTI ateities sandorių (WTIF) ir BRENT ateities sandorių (BRENTF) grafikai:

7 pav. WTI, WTIF, BRENTF kintamųjų grafikai 2015-2024 m.



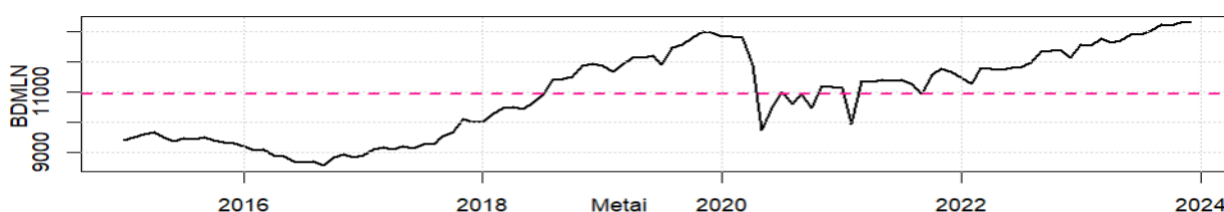
Šaltinis: Sudaryta autoriaus pagal FRED, 2024 ir Investing, 2024.

Kintamieji WTIF ir BRENTF, dažnai indikuojantys nuotaikas rinkoje, neblogai numato, kaip kils WTI kaina. Vizualiai lyginant žalią (WTI) ir rožinę (BRENTF) linijas su juoda, indikuojančia WTI kainą, pastebima, jog ateities sandorių kainos pradeda kristi arba augti

anksčiau, nei tą daro reali kaina. Taipogi, lyginant WTI ir WTIF rodiklius galima pastebėti, kad WTI ateities sandorių kainos dažnu atveju yra arti faktinių reikšmių. Atsižvelgiant į grafike duotas horizontalias rodiklių vidurkių tieses, galima teigti, jog kaip ir faktinės kainos, ateities sandorių kainos turi itin didelius svyravimus.

8 pav. atvaizduotas WTIBDMLN rodiklis, parodantis, kiek per mėnesį WTI naftos barelių išgaunama JAV teritorijoje. Matoma ryški gavybos apimčių augimo tendencija, tačiau atsižvelgiant į nagrinėjamo laikotarpio rodiklio vidurkio lygį, matomi šioke tokie nuokrypiai. Matomas ir staigus apimčių susitraukimas 2020 m., kurį lėmė dėl COVID pandemijos sumažėjusi naftos produkcijos paklausa. Tolimesnį augimą, ypač nuo 2022 m. lėmė dėl Ukrainos karo prasidėjusi energetikos krizė:

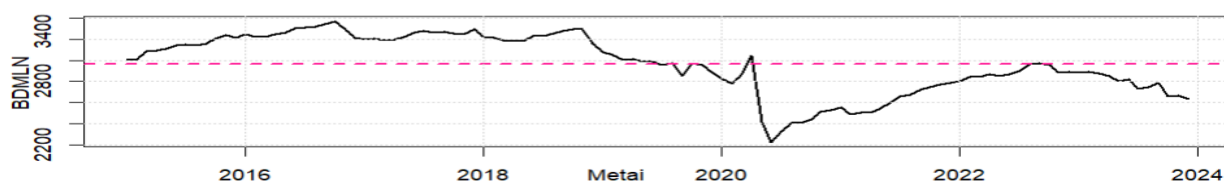
8 pav. *WTI naftos gavybos apimtys (WTIBDMLN) 2015-2024 m.*



Šaltinis: Sudaryta autoriaus pagal EIA, 2024.

9 pav. atvaizduotas OPECBDMLN rodiklis, parodantis kiek naftos barelių per mėnesį išgaunama OPEC organizacijai priklausančių šalių teritorijose. Kaip ir JAV atveju, matomas staigus gavybos apimčių sumažėjimas COVID metu, tačiau priešingai nei WTIBDMLN, paskutiniiais metais gavybos apimčių augimo tendencijos nėra. Tai daroma sąmoningai, siekiant atsverti augančias gavybos apimtis JAV ir norint išlaikyti stabilų žaliavos pasiūlos kiekį rinkoje. Savo ruožtu, toks sprendimas leidžia palaikyti naftos kainą tam tikrose ribose:

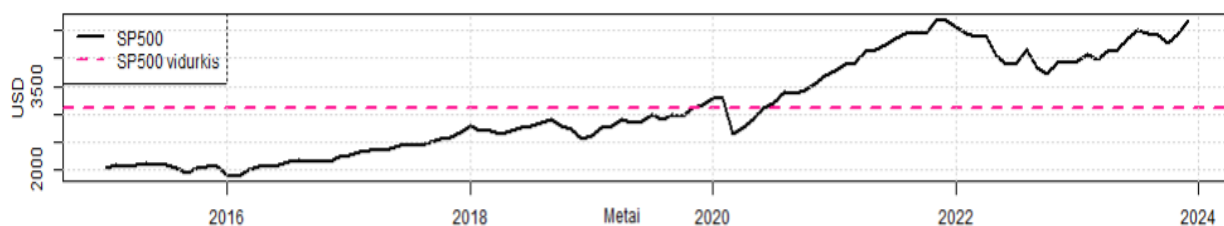
9 pav. *OPEC organizacijos naftos gavybos apimtys (OPECBDMLN) 2015-2024 m.*



Šaltinis: Sudaryta autoriaus pagal OPEC, 2024.

10 pav. atvaizduojamas S&P 500 indekso (SP500) kainos grafikas 2015-2024 m. Rodiklis turi pakankamai aiškiai išreikštą augimo tendenciją ir nedemonstruoja stiprių anomalijų apart 2020 m. dėl COVID-19 pandemijos įvykusio akcijų rinkos susitraukimo:

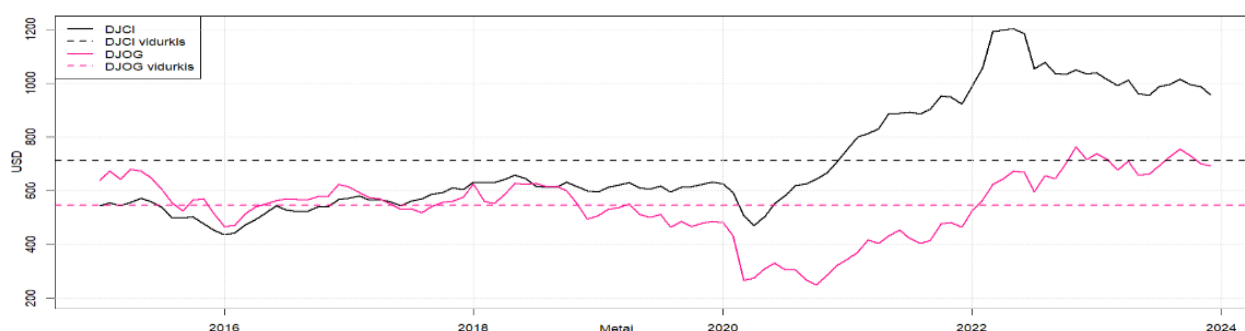
10 pav. „S&P 500“ indekso kainos (SP500) grafikas 2015-2024 m.



Šaltinis: Sudaryta autoriaus pagal FRED, 2024.

11 pav. atvaizduoja „Dow Jones Oil and Gas“ (DJOG) ir „Dow Jones Commodity Index“ (DJCI) indeksų kainas 2015-2024 m. laikotarpiu. Lyginant su anksčiau grafiškai nagrinėtais rodikliais, galima teigti, kad labai ilgą laiką iki COVID-19 rodikliai svyravo netoli savo vidurkio vienas šalia kito. Po COVID-19 šoko, atsiranda augimo tendencijos, kurios vizualiai po truputį grįžta prie vidurkio reikšmių. Taipogi, pagal grafinę analizę galima teigti, jog žaliavų ateities sandorių kainos (DJCI) augo intensyviau nei su nafta ir dujomis susijusių įmonių akcijos (DJOG):

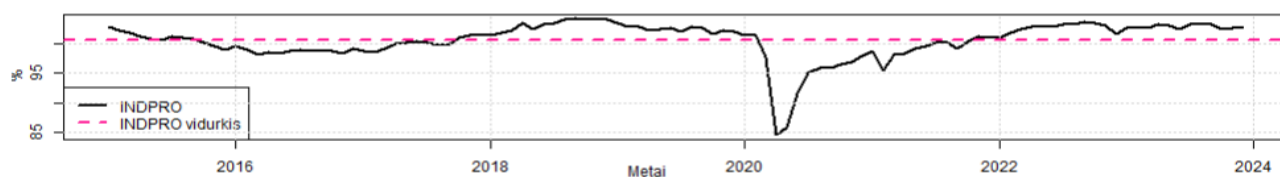
11 pav. DJOG ir DJCI indeksų kainos grafikai 2015-2024 m.



Šaltinis: Sudaryta autoriaus pagal S&P Global, 2024.

Toliau esančiame 12 pav. pateikiamas JAV bendrosios pramonės gamybos indeksas (INDPRO) 2015-2024 m. laikotarpiu. Apart 2020 m. matomo kritimo dėl COVID-19 apribojimų, lėmusių sulėtėjusią gamybą, rodiklis pakankamai tolygiai ir stabiliai svyruoja aplink savo vidurkį. Iš grafiko matosi, jog jis neturi aiškiai išreikštos augimo ar kritimo tendencijos, o stipresnius pokyčius lemia labiau globalios anomalijos:

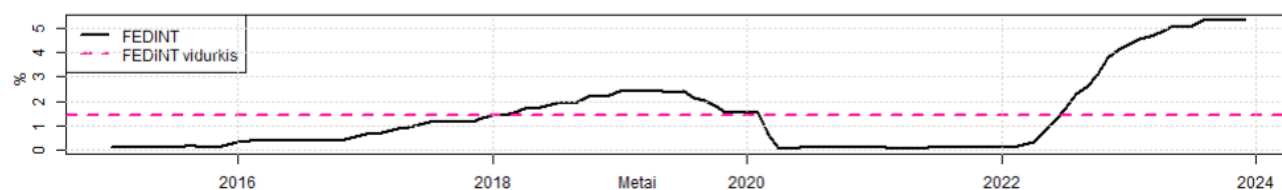
12 pav. JAV bendrosios pramonės gamybos indekso (INDPRO) grafikas 2015-2023 m.



Šaltinis: Sudaryta autoriaus pagal FRED, 2024.

13 pav. vaizduoja kaip 2015-2024 m. laikotarpiu kito pagrindinė Federalinių fondų palūkanų norma (FEDINT), kuri yra pagrindinė JAV finansų rinkos palūkanų norma. Grafike matomi gana dideli nuokrypiai nuo ~1,5 % vidurkio. Matomas ir cikliškumas su mažesniu piku 2019 m. ir aukštesniu piku 2023 m.:

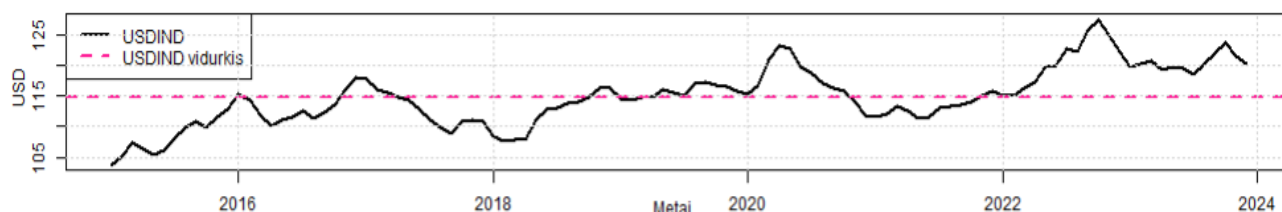
13 pav. JAV Federalinių fondų palūkanų normos (FEDINT) grafikas 2015-2024 m.



Šaltinis: Sudaryta autoriaus pagal FRED, 2024.

14 pav. pateikiamas JAV dolerio indeksas (USDIND) 2015-2024 m. laikotarpiu. Žvelgiant į grafiką matomas šio rodiklio cikliškumas ir augimo tendencija. Taipogi galima teigti, jog visu tiriamuoju laikotarpiu JAV dolerio valiuta stiprėjo, lyginant su užsienio valiutomis:

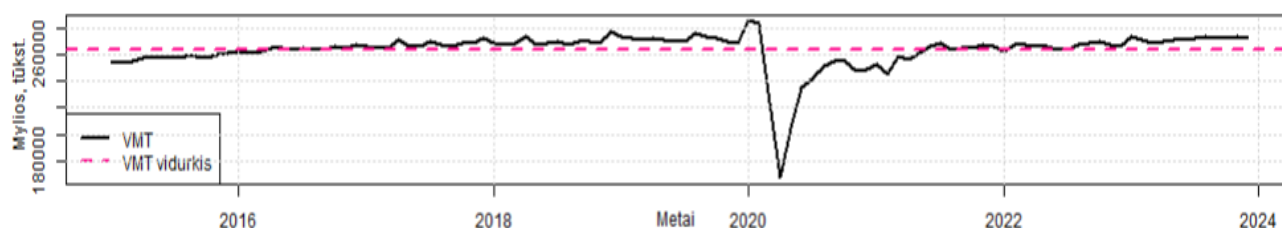
14 pav. JAV Dolerio indekso (USDIND) grafikas 2015-2024 m.



Šaltinis: Sudaryta autoriaus pagal FRED, 2024.

15 pav. atvaizduojama, kiek apytiksliai mylių per metus nuvažiuoja transporto priemonės JAV keliuose (VMT). Rodiklis turi labai silpnai išreikštą augimo tendenciją, tačiau visu tiriamuoju laikotarpiu svyruoja aplink vidurkį. Laiko eilutėje matoma vienintelė anomalija – 2020 m., kuomet pandemijos lemti apribojimai gerokai sumažino kelionių, ypač nebūtinių, skaičių:

15 pav. Nuvažiuoto atstumo JAV (VMT) grafikas 2015-2024 m.



Šaltinis: Sudaryta autoriaus pagal FRED, 2024.

Apibendrinant kintamųjų grafikus, galima teigti jog visi kintamieji, išskyrus naftos kainas turi daugiau mažiau išreikštas tendencijas, cikliškumą. Taipogi, didžioji dalis kintamųjų grafiškai atvaizduoja iš esmės tik 1 anomaliją arba struktūrinį šoką, kuris įvyko dėl COVID-19 pandemija. Taip yra todėl, nes dauguma rodiklių iš esmės yra arba reguliuojami valstybės, arba pačios ekonomikos. Tuo tarpu tiek WTI, tiek BRENT naftos kainų ir jų ateities sandorių kintamieji turi itin chaotiškas laiko eilutes, kuriose egzistuoja daug įvairių lūžių bei didelių nuokrypių nuo vidurkių. Pagrindinė to priežastis – geopolitinės priežastys, kurios ir didžiąja dalimi pagrinde ir lemia pokyčius kainose.

2.1.3. Kintamųjų bazinė statistinė informacija

Norint geriau suprasti turimus kintamuosius ir jų savybes, toliau atliekama kintamųjų bazinės statistinės informacijos analizė. 3 lentelėje pateikiami turimų kintamųjų pagrindiniai statistiniai rodikliai, kurie reprezentuoja pagrindines kintamųjų laiko eilučių statistines savybes nagrinėjamu 2015-2024 m. laikotarpiu. Nagrinėjant rodiklių minimumą, maksimumą ir atsižvelgiant į pateiktus vidurkius galima nesunkiai pastebėti, jog visuose kintamuosiuose egzistuoja stiprūs svyravimai tiek į vieną, tiek į kitą pusę. Nagrinėjant medianos rodmenis galima pastebėti, jog visų rodiklių apart FEDINT medianos yra pakankamai arti vidurkių, tačiau standartiniai nuokrypiai ir dispersijos yra pakankamai aukštos. Tam įtakos turi ir laiko eilutėse esantys ekstremumai (pvz. COVID-19 ir 2022 m. energetikos krizė). Atsižvelgiant į grafinę duomenų analizę galima teigti, jog turimi duomenys yra nevienalyčiai (heteroskedastiški) ir sudaryti iš atskirų pogrupių, turinčių skirtingas charakteristikas. Savo ruožtu šie faktai indikuoja, jog turimi duomenys greičiausiai nėra stacionarios būsenos, todėl tolimesniame etape greičiausiai bus reikalingas kintamųjų pervedimas į stacionarią formą.

3 Lentelė: Kintamųjų bazinė statistinė informacija

Nr.	Kintamasis:	Minimumas:	Vidurkis:	Mediana:	Maksimumas:	Standartinis nuokrypis:	Dispersija:
1.	WTI	16,55	60,47	57,2	114,83	18,43	339,7
2.	WTIF	18,84	60,62	57,94	114,67	18,08	327,12
3.	WTIBDMLN	8543	10924	11227	13319	1434,02	2056435,46
4.	BRENTGP	26,85	64,92	63,55	117,69	18,71	350,16
5.	BRENTF	22,74	65,62	64,83	122,84	19,26	371,22
6.	OPECBDMLN	2224	2969	2986	3371	276,24	76313,17
7.	SP500	1904	3125,46	2893,83	4685,05	873,03	762195,13
8.	DJCI	436,4	711,5	616,5	1202,7	210,02	44109,33
9.	DJOG	249,53	545,01	559,03	763,54	120,36	14486,61
10.	FEDINT	0,05	1,41	0,845	5,33	1,57	2,48
11.	INDPRO	84,59	100,54	101,25	104,11	3,12	9,74
12.	USDIND	103,76	114,87	114,81	127,48	4,73	22,38
13.	VMT	167174	263738,23	266601,5	285452	14001,29	196036218

Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

2.1.4. Kintamųjų autokorelogramos ir stacionarumo testai

Kintamųjų autokorelogramos (ACF) naudojamos siekiant suprasti ryšį tarp stebėjimų skirtinguose laiko eilučių taškuose. ACF diagramose, tiriant koreliacijas tarp stebėjimų, taipogi galima nustatyti tokias kintamųjų savybes, kaip sezoniškumas arba cikliškumas. 16 pav. (žr. 1 priedą) pateikiamos visų kintamųjų ACF diagramos. Apart kintamojo VMT, jos visos indikuoja pakankamai laipsnišką gesimą, todėl galima teigti, jog kintamieji nėra sezoniški.

Tyrimams ir modeliavimui su VAR tipo modeliais, labai svarbu nustatyti, ar turimi kintamieji neturi vienetinės šaknies, t. y. ar kintamieji stacionarūs ar ne. Nestacionarumas gali sukelti klaidingas koreliacijas ir lemti netikslias prognozes. Stacionarumas reiškia, kad laikui bėgant nekinta statistinės kintamojo savybės, tokios kaip vidurkis ir dispersija. Kitaip tariant, kintamojo elgesys išlieka nuoseklus ir stabilus per visą laiko eilutę. Nestacionarus kintamasis turi priešingas savybes stacionariam – bėgant laikui jo statistinės savybės kinta, ir taip gali būti dėl įvairių priežasčių, pavyzdžiui, išreikšta augimo/kritimo tendencija (Affek, 2019).

Nustatyti, ar kintamasis stacionarus, galima atlikus „Augmented Dickey-Fuller“ (ADF) vienetinės šaknies testą su klaidžiojimo („Drift“) komponente ir kurio hipotezės yra:

ADF hipotezės **p-value** reikšmei:

H_0 : Kintamasis turi vienetinę šaknį ($p - value > 0,05$) → **Nestacionarus**

H_1 : Kintamasis neturi vienetinės šaknies ($p - value < 0,05$) → **Stacionarus**

ADF hipotezės **T** reikšmei:

H_0 : Kintamasis turi vienetinę šaknį ($T > -2,88$ (5%)) → **Nestacionarus**

H_1 : Kintamasis neturi vienetinės šaknies ($T < -2,88$ (5%)) → **Stacionarus**

ADF hipotezės **φ** reikšmei:

H_0 : Kintamasis turi vienetinę šaknį ($\phi < 4,63$ (5%)) → **Nestacionarus**

H_1 : Kintamasis neturi vienetinės šaknies ($\phi > 4,63$ (5%)) → **Stacionarus**

4 lentelėje pateikiami ADF kintamųjų stacionarumo testo rezultatai, atlikti „R Studio“ aplinkoje, pasitelkus „*ur.df*“ funkciją iš „*urca*“ paketo:

4 Lentelė: Kintamųjų ADF stacionarumo testo rezultatai:

Nr.	Kintamasis:	P- value pas. Int. (5 %):	ADF P-value:	Tau2 pas. Int. (5 %):	ADF Tau2 reikšmė:	Phi2 pas. Int. (5 %):	ADF Phi2 reikšmė:	Išvada:	Integracijos eilė:
1.	WTI	0,05	0,09	-2,88	-1,69	4,63	1,51	→ Nestacionarus	0
2.	WTIF	0,05	0,06	-2,88	-1,87	4,63	1,81	→ Nestacionarus	0
3.	WTIBDMLN	0,05	0,3	-2,88	-1,03	4,63	1,05	→ Nestacionarus	0
4.	BRENTGP	0,05	0,1	-2,88	-1,63	4,63	1,46	→ Nestacionarus	0
5.	BRENTF	0,05	0,09	-2,88	-1,68	4,63	1,44	→ Nestacionarus	0
6.	OPECBDMLN	0,05	0,21	-2,88	-1,25	4,63	0,89	→ Nestacionarus	0
7.	SP500	0,05	0,89	-2,88	-0,12	4,63	2,29	→ Nestacionarus	0
8.	DJCI	0,05	0,62	-2,88	-0,48	4,63	0,98	→ Nestacionarus	0
9.	DJOG	0,05	0,17	-2,88	-1,36	4,63	0,94	→ Nestacionarus	0
10.	FEDINT	0,05	0,08	-2,88	1,72	4,63	5,21	→ Nestacionarus	0
11.	INDPRO	0,05	0,006	-2,88	-2,77	4,63	3,84	→ Nestacionarus	0
12.	USDIND	0,05	0,02	-2,88	-2,32	4,63	3,29	→ Nestacionarus	0
13.	VMT	0,05	0,0001	-2,88	-3,88	4,63	7,57	→ Stacionarus	0

Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

Pagal pateiktus ADF stacionarumo testo rezultatus galima daryti išvadą, jog VMT vienintelis kintamasis, kuris yra stacionarus. Visiems kitiems - H_0 hipotezės neatmetamos, ir jie nėra stacionarūs, todėl jiems reikalinga transformacija į stacionarią formą. Kadangi vėliau bus sudaromi VAR tipo modeliai, VMT taipogi turės būti integruotas ta pačia eile, kaip ir kiti kintamieji, kuriems reikalingas pervedimas į stacionarią formą.

2.1.5. Kintamųjų integracijos eilės radimas

Atlikus ADF testą turimiems duomenims nustatyta, jog turimi kintamieji nestacionarūs ir jiems reikalinga transformacija į stacionarią formą. Tam pasiekti, paaimamas 1-os eilės rodiklių skirtumas (angl. *differentiation*) ir tada vėl kartojamas ADF testas nustatyti, ar gauta duomenų forma yra stacionari. 5 lentelėje pateikiami ADF testo rezultatai transformuotiems kintamiesiems:

5 Lentelė: Kintamųjų ADF testo rezultatai (1 skirtumas):

Nr.	Kintamasis:	P- value pas. Int. (5 %):	ADF P-value:	Tau2 pas. Int. (5 %):	ADF Tau2 reikšmė:	Phi2 pas. Int. (5 %):	ADF Phi2 reikšmė:	Išvada:	Integracijos eilė:
1.	WTI_L1	0,05	8,907e-12	-2,88	-7,22	4,63	26,14	→ Stacionarus	1
2.	WTIF_L1	0,05	4,308e-14	-2,88	-7,27	4,63	26,45	→ Stacionarus	1
3.	WTIBDMLN_L1	0,05	2,2e-16	-2,88	-8,49	4,63	36,06	→ Stacionarus	1
4.	BRENTGP_L1	0,05	3,106e-11	-2,88	-6,94	4,63	24,15	→ Stacionarus	1
5.	BRENTF_L1	0,05	3,547e-13	-2,88	-6,79	4,63	23,1	→ Stacionarus	1
6.	OPECBDMLN_L1	0,05	2,2e-16	-2,88	-8,91	4,63	39,78	→ Stacionarus	1
7.	SP500_L1	0,05	2,98e-14	-2,88	-7,59	4,63	28,89	→ Stacionarus	1
8.	DJCI_L1	0,05	3,578e-10	-2,88	-5,47	4,63	14,98	→ Stacionarus	1
9.	DJOG_L1	0,05	2,322e-13	-2,88	-7,18	4,63	25,8	→ Stacionarus	1
10.	FEDINT_L1	0,05	3,534e-05	-2,88	-4,12	4,63	8,49	→ Stacionarus	1
11.	INDPRO_L1	0,05	2,464e-14	-2,88	-8,72	4,63	38,03	→ Stacionarus	1
12.	USDIND_L1	0,05	1,973e-10	-2,88	-7,06	4,63	24,98	→ Stacionarus	1
13.	VMT_L1	0,05	2,2e-16	-2,88	-10,95	4,63	59,99	→ Stacionarus	1

Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

Atsižvelgiant į 2.1.4. poskyryje pateiktas ADF testo prielaidas, galima teigti, jog paimto 1 eilės rodiklių skirtumo pakako, kad būtų patenkinamos ADF testo H_1 hipotezės sąlygos bei gauta stacionari kintamųjų forma. Siekiant lengviau identifikuoti kode į stacionarią formą transformuotus kintamuosius, į jų pavadinimus įvedamas pabraukimas su L1 priedu („_L1“).

2.2. VAR modelių sudarymas

Poskyryje bus aprašomi VAR modeliai, skirti WTI naftos kainos prognozavimui nuo 2020 iki 2024 m. Kiekvienam periodui sudaromas atskiras VAR modelis, kadangi kiekvienais metais pokyčius lėmė skirtingos priežastys. Verta priminti ir tai, kad šiuo laikotarpiu Pasaulis nebuvo labai stabilus ir iš esmės kiekvienais metais buvo įvykių, stipriai paveikusių naftos kainas, tokių kaip Rusijos-Saudų Arabijos naftos kainų karas, COVID-19 pandemija, Rusijos-Ukrainos karas ir iš to kilusi energetikos krizė, o 2023 m. gale prasidėjo ir konfliktas tarp Izraelio ir Hamas, kuris peraugo į Izraelio konfrontaciją su Iranu. Taipogi, kiekvienam prognozuojama periodui suteikiama vienodo, 5 m. ilgio mėnesinių duomenų bazė, siekiant neperkelti bereikalingo triukšmo į prognozuojamus metus. Tyrimui su stacionariais kintamaisiais atlikti buvo pasirinkti VAR modeliai, kadangi jie gali užfiksuoti kelių laiko eilučių raidą ir tarpusavio priklausomybes (Maitra, 2020), o tai yra svarbu nagrinėjant naftos kainą, kuri nėra tiesiška, chaotiška, ir dažnai negeba visiškai iš savęs paaiškinti vykstančių pokyčių. Toliau pateikiama bendrinė VAR modelio lygtis matriciniu pavidalu (13):

$$Y_t = c + \sum_{i=1}^p A_i Y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (13)$$

Kur:

$$Y_t = [Y_{1,t}, \dots, Y_{K,t}]^T$$

$$c = [c_1, \dots, c_k]^T$$

$$A_i = (a_{j,k}^{(i)}) \in R^{K \times K}$$

$$\varepsilon_t = [\varepsilon_{1,t}, \dots, \varepsilon_{K,t}]^T$$

2.2.1. VAR1 – modeliuojami 2020 m.

VAR1 modelis sudaromas siekiant prognozuoti WTI naftos kainą 2020 metais. Modeliui sudaryti buvo pasirinkti 4 kintamieji – WTI naftos kaina (WTI), BRENT naftos ateities sandoriai

(BRENTF), „Dow Jones Commodities“ indeksas (DJOG) ir nuvažiuotas atstumas (VMT). Kintamųjų laiko eilutės ilgis – nuo 2015 iki 2019 m. Pasirinkimą lėmė viena iš pagrindinių 2020 m. savybių – įvedus apribojimus dėl COVID-19 pandemijos pakankamai stipriai sumažėjo kelionių skaičius, o tai savo ruožtu įtakoją naftos produkcijos paklausą bei su nafta ir dujomis susijusių bendrovių rezultatus (Le et al., 2021) Kas be ko, jau grafinės analizės metu buvo pastebėta, jog kintamasis BRENTF kinta beveik identišškai su WTI, tik į pokyčius ir naujienas reaguoja anksčiau.

VAR1 modelio eilė pasirenkama „R Studio“ programos paketo „vars“ funkcijos „VARselect“ pagalba. Pagal AIC, HQ, SC ir FPE kriterijus buvo siūlomas 10 vėlavimas, tačiau, pakartojus eksperimentą su 9 vėlavimo eile, buvo gauti tikslesni rezultatai. Todėl toliau pateikiamos bendrinės, 9 eilės VAR1 modelio lygtys (14-17):

$$WTI_t = c_1 + \sum_{i=1}^9 A_{1i} WTI_{t-i} + \sum_{i=1}^9 A_{2i} BRENTF_{t-i} + \sum_{i=1}^9 A_{3i} DJOG_{t-i} + \sum_{i=1}^9 A_{4i} VMT_{t-i} + \varepsilon_{1t} \quad (14)$$

$$BRENTF_t = c_2 + \sum_{i=1}^9 B_{1i} WTI_{t-i} + \sum_{i=1}^9 B_{2i} BRENTF_{t-i} + \sum_{i=1}^9 B_{3i} DJOG_{t-i} + \sum_{i=1}^9 B_{4i} VMT_{t-i} + \varepsilon_{2t} \quad (15)$$

$$DJOG_t = c_3 + \sum_{i=1}^9 C_{1i} WTI_{t-i} + \sum_{i=1}^9 C_{2i} BRENTF_{t-i} + \sum_{i=1}^9 C_{3i} DJOG_{t-i} + \sum_{i=1}^9 C_{4i} VMT_{t-i} + \varepsilon_{3t} \quad (16)$$

$$VMT_t = c_4 + \sum_{i=1}^9 D_{1i} WTI_{t-i} + \sum_{i=1}^9 D_{2i} BRENTF_{t-i} + \sum_{i=1}^9 D_{3i} DJOG_{t-i} + \sum_{i=1}^9 D_{4i} VMT_{t-i} + \varepsilon_{4t} \quad (17)$$

2.2.2. VAR2 – modeliuojami 2021 m.

VAR2 sudaromas siekiant prognozuoti WTI naftos kainą 2021 m. Modeliui sudaryti panaudoti 5 kintamieji - WTI naftos kaina (WTI), WTI naftos ateities sandoriai (WTIF), S&P 500 indeksas (SP500), JAV Federalinio banko palūkanų norma (FEDINT) ir BRENT naftos ateities sandoriai (BRENTF). VAR2 pradinių duomenų ilgis – nuo 2016 iki 2020 m. Pats 2021 m. laikotarpis buvo pakankamai kompleksiškas. Šalys vis dar tvarkėsi su COVID-19 pandemija ir naujai atrasta „Delta“ atmaina, o Sueco kanalas, kuris yra vienas iš pagrindinių prekybos kelių, dėl „EVERGIVEN“ konteinerinio laivo nelaimės buvo užblokuotas beveik savaitę laiko (Meredith, 2021). Poveikį turėjo ir metų gale prasidėjusios kalbos apie potencialą Rusijos invaziją į Ukrainą (Pratten, 2021). Taipogi, 2019 m. vyravo pakankamai aukštos JAV Federalinio banko palūkanų normos, tuo tarpu 2020-2021 m. laikotarpiu jos buvo labai arti nulio.

Sudarant VAR2 modelį, funkcijos „Vars“ kriterijus FPE siūlė 7 vėlavimą, tačiau kriterijai -AIC, HQ ir SC siūlė 8 vėlavimą. Eksperimentą pakartojus su abejais vėlavimais, geresni rezultatai buvo gauti taikant 8 vėlavimą. Toliau pateikiamos 8 eilės VAR2 modelio formulės (18–22):

$$WTI_t = c_1 + \sum_{i=1}^8 A_{1i} WTI_{t-i} + \sum_{i=1}^8 A_{2i} BRENTF_{t-i} + \sum_{i=1}^8 A_{3i} WTIF_{t-i} + \sum_{i=1}^8 A_{4i} SP500_{t-i} + \sum_{i=1}^8 A_{5i} FEDINT_{t-i} + \varepsilon_{1t} \quad (18)$$

$$BRENTF_t = c_2 + \sum_{i=1}^8 B_{1i} WTI_{t-i} + \sum_{i=1}^8 B_{2i} BRENTF_{t-i} + \sum_{i=1}^8 B_{3i} WTIF_{t-i} + \sum_{i=1}^8 B_{4i} SP500_{t-i} + \sum_{i=1}^8 B_{5i} FEDINT_{t-i} + \varepsilon_{2t} \quad (19)$$

$$WTIF_t = c_3 + \sum_{i=1}^8 C_{1i} WTI_{t-i} + \sum_{i=1}^8 C_{2i} BRENTF_{t-i} + \sum_{i=1}^8 C_{3i} WTIF_{t-i} + \sum_{i=1}^8 C_{4i} SP500_{t-i} + \sum_{i=1}^8 C_{5i} FEDINT_{t-i} + \varepsilon_{3t} \quad (20)$$

$$SP500_t = c_4 + \sum_{i=1}^8 D_{1i} WTI_{t-i} + \sum_{i=1}^8 D_{2i} BRENTF_{t-i} + \sum_{i=1}^8 D_{3i} WTIF_{t-i} + \sum_{i=1}^8 D_{4i} SP500_{t-i} + \sum_{i=1}^8 D_{5i} FEDINT_{t-i} + \varepsilon_{4t} \quad (21)$$

$$FEDINT_t = c_5 + \sum_{i=1}^8 E_{1i} WTI_{t-i} + \sum_{i=1}^8 E_{2i} BRENTF_{t-i} + \sum_{i=1}^8 E_{3i} WTIF_{t-i} + \sum_{i=1}^8 E_{4i} SP500_{t-i} + \sum_{i=1}^8 E_{5i} FEDINT_{t-i} + \varepsilon_{5t} \quad (22)$$

2.2.3. VAR3 – modeliuojami 2022 m.

VAR3 modelis skirtas modeliuoti 2022 m., kurie buvo pakankamai kompleksiški. Pasaulis po truputį atsigavinėjo po COVID-19 pandemijos, augo gamyba, tačiau stipriai augo ir infliacija. Infliacijai suvaldyti JAV Federalinis centrinis bankas nuosekliai didino palūkanų normą. Energetinių išteklių kainos, išaugus paklausai atsigavinėjo ir įgijo teigiamą augimo tendenciją po 2020 m. patirtų rekordinių žemumų, tačiau viską sujaukė Vasario mėnesį prasidėjęs Rusijos-Ukrainos konfliktas. Kaip atsaką, vakarų valstybės įvedė Rusijai sankcijas, įskaitant ir energetikos sektorių. To pasekoje įsivyravo nežinomybė ir baimė rinkose, o tai savo ruožtu lėmė stiprų nominalios naftos kainos ir naftos kainos ateities sandorių augimą (Brower ir Sheppard, 2022). Prie kainos augimo prisidėjo ir Houthis sukilėlių ataka prieš „Aramco“ degalų saugyklą Saudo Arabijoje Kovo mėn. gale (Yaakoubi ir Dahan, 2022). Šie geopolitiniai faktoriai ir nežinomybė dėl tiekimo grandinių užtikrintumo lėmė spartų naftos kainos augimą 2022 m. laikotarpiu. VAR3 modeliui sudaryti buvo pasirinkti 4 kintamieji – WTI naftos kaina (WTI), Brent naftos ateities sandoriai (BRENTF), pramonės gamybos bendrasis indeksas (INDPRO) ir JAV centrinio banko palūkanų norma (FEDINT), kurių ilgis – nuo 2017 iki 2021 m.

Pagal AIC, BIC, HQ ir FPE kriterijus, modeliui sudaryti pasirinkta 10-ta vėlavimo eilė. Kaip ir VAR2 atveju, FPE siūlė vienu vėlavimu žemesnę – 9 eilę, tačiau atlikus eksperimentus tiek su 9-ta, tiek su 10-ta vėlavimo eile, geresni rezultatai buvo gauti pasitelkus 10 vėlavimo eilę. Toliau pateikiamos 10-tos eilės VAR3 modelio formulės (23-26):

$$WTI_t = c_1 + \sum_{i=1}^{10} A_{1i} WTI_{t-i} + \sum_{i=1}^{10} A_{2i} BRENTF_{t-i} + \sum_{i=1}^{10} A_{3i} INDPRO_{t-i} + \sum_{i=1}^{10} A_{4i} FEDINT_{t-i} + \varepsilon_{1t} \quad (23)$$

$$BRENTF_t = c_2 + \sum_{i=1}^{10} B_{1i} WTI_{t-i} + \sum_{i=1}^{10} B_{2i} BRENTF_{t-i} + \sum_{i=1}^{10} B_{3i} INDPRO_{t-i} + \sum_{i=1}^{10} B_{4i} FEDINT_{t-i} + \varepsilon_{2t} \quad (24)$$

$$INDPRO_t = c_3 + \sum_{i=1}^{10} C_{1i} WTI_{t-i} + \sum_{i=1}^{10} C_{2i} BRENTF_{t-i} + \sum_{i=1}^{10} C_{3i} INDPRO_{t-i} + \sum_{i=1}^{10} C_{4i} FEDINT_{t-i} + \varepsilon_{3t} \quad (25)$$

$$FEDINT_t = c_4 + \sum_{i=1}^{10} D_{1i} WTI_{t-i} + \sum_{i=1}^{10} D_{2i} BRENTF_{t-i} + \sum_{i=1}^{10} D_{3i} INDPRO_{t-i} + \sum_{i=1}^{10} D_{4i} FEDINT_{t-i} + \varepsilon_{4t} \quad (26)$$

2.2.4. VAR4 – modeliuojami 2023 m.

VAR4 modelis skirtas modeliuoti 2023 m., kurie lyginant su 2020, 2021 ir 2022 m. buvo kiek mažiau kompleksiški. Neigiamą poveikį kainoms metų pradžioje turėjo Kovo mėn. JAV įvykusios 3 mažų ir vidutinio dydžio bankų griūtys ir stiprėjantis JAV doleris (Kemp, 2023). Teigiamą poveikį kainoms turėjo Spalio mėnesį išplieskęs konfliktas tarp Izraelio ir Hamas grupuotės bei Houthis grupuotės atakos prieš laivus, plaukiančius Raudonąją jūrą link Sueco kanalo (Grover ir Ghaddar, 2023). Teigiamą poveikį kainoms turėjo ir OPEC+ organizacijos vykdytas gavybos apimčių mažinimas, kuriuo buvo siekiama atsverti gavybos apimčių augimą JAV (Lawler et al., 2023). 2023 m. skiriasi nuo 2020, 2021 ir 2022 m. tuo, kad nebuvo tokių didelių, globalių kataklizmų, sukėlusių didelius šokus rinkose (kaip 2020-2021 m. – COVID-19 pandemija, o 2022 m. – Ukrainos-Rusijos karas), todėl ir WTI naftos kaina 2023 m., lyginant su praėjusiais periodais buvo gerokai statiškesnė. Tą atspindi ir VAR4 modeliui sudaryti pasirinkti 6 kintamieji - WTI naftos kaina (WTI), WTI naftos kainos ateities sandoriai (WTIF), BRENT naftos kainos ateities sandoriai (BRENTF), WTI naftos gavybos apimtys (WTIBDMLN), OPEC organizacijos gavybos apimtys (OPECBDMLN) ir Nominalusis platusis JAV dolerio indeksas (USDIND). Atsižvelgiant į modeliui sudaryti pasirinktus kintamuosius, galima teigti, jog iš visų pateiktų VAR modelių,

VAR4 modelis labiausiai atsižvelgia į žaliavos pasiūlos/paklausos santykį dėl įvestų gavybos apimčių kintamųjų. VAR4 modeliui sudaryti panaudotų kintamųjų laiko eilučių ilgis - 5 metai – nuo 2017 iki 2022 m.

Funkcijos „Vars“ kriterijai AIC, HQ, SC ir FPE VAR modeliui sudaryti vieningai siūlė 7 vėlavimą, tačiau eksperimentą pakartojus su žemesniais – 6 ir 5 vėlavimais, geriausi rezultatai buvo gauti taikant 5 vėlavimą. Toliau pateikiamos 5 eilės VAR4 modelio formulės (27-32):

$$\begin{aligned} WTI_t = & c_1 + \sum_{i=1}^5 A_{1i} WTI_{t-i} + \sum_{i=1}^5 A_{2i} WTIF_{t-i} + \sum_{i=1}^5 A_{3i} BRENTF_{t-i} + \\ & + \sum_{i=1}^5 A_{4i} WTIBDMLN_{t-i} + \sum_{i=1}^5 A_{5i} OPECBDMLN_{t-i} + \sum_{i=1}^5 A_{6i} USDIND_{t-i} + \\ & + \varepsilon_{1t} \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} WTIF_t = & c_2 + \sum_{i=1}^5 B_{1i} WTI_{t-i} + \sum_{i=1}^5 B_{2i} WTIF_{t-i} + \sum_{i=1}^5 B_{3i} BRENTF_{t-i} + \\ & + \sum_{i=1}^5 B_{4i} WTIBDMLN_{t-i} + \sum_{i=1}^5 B_{5i} OPECBDMLN_{t-i} + \\ & + \sum_{i=1}^5 B_{6i} USDIND_{t-i} + \varepsilon_{2t} \end{aligned} \quad (28)$$

$$\begin{aligned} BRENTF_t = & c_3 + \sum_{i=1}^5 C_{1i} WTI_{t-i} + \sum_{i=1}^5 C_{2i} WTIF_{t-i} + \sum_{i=1}^5 C_{3i} BRENTF_{t-i} + \\ & + \sum_{i=1}^5 C_{4i} WTIBDMLN_{t-i} + \sum_{i=1}^5 C_{5i} OPECBDMLN_{t-i} + \\ & + \sum_{i=1}^5 C_{6i} USDIND_{t-i} + \varepsilon_{3t} \end{aligned} \quad (29)$$

$$\begin{aligned} WTIBDMLN_t = & c_4 + \sum_{i=1}^5 D_{1i} WTI_{t-i} + \sum_{i=1}^5 D_{2i} WTIF_{t-i} + \sum_{i=1}^5 D_{3i} BRENTF_{t-i} + \\ & + \sum_{i=1}^5 D_{4i} WTIBDMLN_{t-i} + \sum_{i=1}^5 D_{5i} OPECBDMLN_{t-i} + \\ & + \sum_{i=1}^5 D_{6i} USDIND_{t-i} + \varepsilon_{4t} \end{aligned} \quad (30)$$

$$\begin{aligned} OPECBDMLN_t = & c_5 + \sum_{i=1}^5 E_{1i} WTI_{t-i} + \sum_{i=1}^5 E_{2i} WTIF_{t-i} + \sum_{i=1}^5 E_{3i} BRENTF_{t-i} + \\ & + \sum_{i=1}^5 E_{4i} WTIBDMLN_{t-i} + \sum_{i=1}^5 E_{5i} OPECBDMLN_{t-i} + \\ & + \sum_{i=1}^5 E_{6i} USDIND_{t-i} + \varepsilon_{5t} \end{aligned} \quad (31)$$

$$\begin{aligned} USDIND_t = & c_6 + \sum_{i=1}^5 F_{1i} WTI_{t-i} + \sum_{i=1}^5 F_{2i} WTIF_{t-i} + \sum_{i=1}^5 F_{3i} BRENTF_{t-i} + \\ & + \sum_{i=1}^5 F_{4i} WTIBDMLN_{t-i} + \sum_{i=1}^5 F_{5i} OPECBDMLN_{t-i} + \\ & + \sum_{i=1}^5 F_{6i} USDIND_{t-i} + \varepsilon_{6t} \end{aligned} \quad (32)$$

2.2.5. VAR5 – modeliuojami 2024 m.

VAR5 modelis sudaromas siekiant prognozuoti 2024 m. vidutinę, mėnesinę WTI naftos kainą. 2024 metai lyginant su prieš tai nagrinėtais laikotarpiais yra savotiškai tuo, kad nebuvo ypač ryškių geopolitinių įvykių ar pokyčių. Pavyzdžiui, 2020 m. žaliavų kainoms ir visai ekonomikai didžiulį poveikį turėjo COVID-19 pandemijos sukurti šokai, kurių sukelti disbalansai turėjo tiesioginį poveikį ir 2021 m. vyraavusioms naftos kainoms bei procesams. 2022 m. prasidėjo

Ukrainos-Rusijos konfliktas, o 2023 m. gale įvyko Hamas grupuotės išpuolis prieš Izraelį, kurio pasekmė – krizė naftos gavybai ir prekybai ypatingai svarbiame regione. Tuo tarpu, 2024 m. iš savęs kažko naujo ypatingai nepasiūlė. Rusijos „speciali karinė operacija“, jau gan senai virtusi pilnaverčiu karu tarp dviejų valstybių, tęsiasi iki šiol be jokio svaresnio situacijos pakrypimo į vienos, ar kitos pusės naudą. Po Ukrainos karo pradžios kilusi energetikos krizė jau taipogi liko praeityje. 2023 m. Spalio mėn. kilęs konfliktas tarp Hamas ir Izraelio, taipogi tęsiasi iki šiol. Skirtumas nuo Ukrainos atvejo tik tas, kad jei Ukrainoje vykstantis karas fiziškai yra pakankamai lokalus (t.y. veiksmai geografiškai apsiriboja Rusijos ir Ukrainos teritorijose su tam tikromis išimtimis), tai Izraelio-Hamas konfliktas išaugo į regioninę krizę – į konfliktą tiesiogiai įsitraukė Libaną kontroliuojanti Hezbollah grupuotė, o išpuolius prieš Izraelį vykdo ir Iranas, ir Houthi grupuotė, veikianti Jemene. 2024 metais, priešingai nei 2022 ir 2023-iais, neprasidėjo naujas, stambus konfliktas, kuris būtų galėjęs ypač stipriai paveikti rinkas, kaip tai buvo minėtais 2023 bei 2024 metais.

Iš ekonominės pusės, didžiausios ekonomikos – Kinija ir JAV, neturėjo aiškiais išreikštos augimo arba lėtėjimo trajektorijos – vieną ketvirtį prognozuojamas lėtėjimas, kitą ketvirtį augimas. JAV doleris vieną ketvirtinį sustiprėjo, kitą susilpnėjo. (J.P. Morgan, 2024). Taigi, 2024 m., lyginant su ankstesniais periodais, buvo sąlyginai ramesni iš tos pusės, kad Pasaulyje neįvyko nauji struktūriniai šokai (arba įvykiai), turėję tiesioginį ir stiprų poveikį nusistovėjusiai santvarkai. Iš kitos pusės – vyko JAV prezidento rinkimai, kurie kaip įprasta paskutinės porą kadencijų, buvo pakankamai audringi – pradedant esamo prezidento Joe Biden'o pasitraukimu iš rinkimų, Kamala Harris delegavimu ir baigiant pasikėsinimu į respublikonų kandidatą Donald'ą Trump'ą (The Economist, 2024). Šių metų rinkimus laimėjo ir 47-tuoju JAV prezidentu 2-ai kadencijai taps Donald'as Trump'as, pasižymintis elgesiu ir principais, kuriuos kartais sudėtinga nuspėti ir suprasti. Naftos kainoms 2024 m. gale, rinkimų baigtis poveikio neturės, tačiau sekančiais metais, jau gali būti visaip, priklausomai nuo to, kaip stipriai Trump'as laikysis savo rinkiminių pažadų ir punktų – jis žada kažkaip užbaigti Ukrainos karą per dieną, o Izraelio ministrui Netanyahu pasakė, kad norėtų, jog neramumai Artimuosiuose rytuose būtų pasibaigę dar iki jo kadencijos. Tiesioginį poveikį gali turėti ir kitos gairės, susijusios su studentų skolomis bei papildomais tarifais importui tiek iš Kinijos, tiek iš Europos Sąjungos (Daniel Payne, 2024). Apibendrinant, 2024 m. naftos kainų pokyčiai jau yra susiję nebe su stambiais geopolitiniais pokyčiais, o su gausybe įvairių naujienų apie centrinių bankų palūkanų normų pokyčius, didžiausių rinkų ekonomines perspektyvas, pavienius išpuolius naftai svarbiuose regiuose, tuo tarpu prie jau vykstančių konfliktų – Ukrainos karo ir neramumų Artimuosiuose rytuose, rinkos ir visuomenė jau priprato. 2024 m. prognozuoti sudarytas VAR5 modelis iš visų, tyrime pateiktų VAR modelių savotiškas

tu, kad geri rezultatai buvo gauti naudojant modelį, sudarytą tik iš 3-jų kintamųjų – tiriamojo WTI, WTI naftos ateities sandorių kainų (WTIF) bei JAV pramonės gamybos bendrojo indekso (INDPRO). Panaudotų kintamųjų laiko eilučių ilgiai - 5 metų, nuo 2019 m. Sausio iki 2023 m. Gruodžio. Funkcijos „Vars“ kriterijai AIC, HQ, SC VAR modeliui sudaryti vieningai siūlė 13-tą vėlavimą, FPE – 12-tą. Eksperimentą pakartojus taikant įvairius vėlavimus, geriausi rezultatai buvo pasiekti naudojant 10 eilės VAR modelį. Įdomu tai, kad atsižvelgiant į analizuojamo laikotarpio įvykius, naftos gavybos apimtys (tiek WTI, tiek OPEC), JAV centrinio banko palūkanų norma (FEDINT) arba JAV Dolerio indeksas (USDIND), nebuvo reikšmingi, o modelio prognozavimo galimybių ir rezultatų nepatobulindavo. Toliau pateikiamos 10 eilės VAR5 modelio formulės (33-35):

$$WTI_t = c_1 + \sum_{i=1}^{10} A_{1i}WTI_{t-i} + \sum_{i=1}^{10} A_{2i}BRENTF_{t-i} + \sum_{i=1}^{10} A_{3i}INDPRO_{t-i} + \varepsilon_{1t} \quad (33)$$

$$WTIF_t = c_2 + \sum_{i=1}^{10} B_{1i}WTI_{t-i} + \sum_{i=1}^{10} B_{2i}BRENTF_{t-i} + \sum_{i=1}^{10} B_{3i}INDPRO_{t-i} + \varepsilon_{2t} \quad (34)$$

$$INDPRO_t = c_3 + \sum_{i=1}^{10} C_{1i}WTI_{t-i} + \sum_{i=1}^{10} C_{2i}BRENTF_{t-i} + \sum_{i=1}^{10} C_{3i}INDPRO_{t-i} + \varepsilon_{3t} \quad (35)$$

2.2.6. Sudarytų VAR modelių Grangerio priežastingumo testai

Toliau sudarytiems VAR modeliams atliekamas Grangerio priežastingumo testas (angl. *Granger Causality*), kuris tikrina, ar vieno kintamojo tiesinis ryšys gali būti prasmingai apibūdintas kaip priklausomas kintamasis, o kitas - kaip nepriklausomas kintamasis. Taipogi, ar ryšys yra abipusis, ir ar jis apskritai egzistuoja (Stern, 2004). Šio testo hipotezės yra:

H_0 : Kintamasis turi Granger priežastingumą ($p - value > 0,05$)

H_1 : Kintamasis neturi Granger priežastingumo ($p - value < 0,05$)

Taigi, jei kintamajam Granger testo reikšmės „p-value“ viršija 0,05, H_0 hipotezės neatmetame. „R Studio“ programoje testas atliekamas „causality“ funkcijos iš „vars“ paketo pagalba. 6-oje lentelėje pateikiami panaudotų kintamųjų, sudarant VAR1, VAR2, VAR3, VAR4 bei VAR5 modelius, Granger priežastingumo testo rezultatai, kiekvieno modelio atveju:

6 Lentelė: VAR modelių Granger priežastingumo testo rezultatai:

VAR Modelis:	Kintamasis:	P-value pas. Int.	Granger Test P-value:	Išvada:
VAR1	WTI	0,05	0,6302	H0 hipotezė neatmetama
	BRENTF	0,05	0,01708	H0 hipotezė atmetama
	DJOG	0,05	0,669	H0 hipotezė neatmetama
	VMT	0,05	0,03674	H0 hipotezė atmetama
VAR2	WTI	0,05	0,988	H0 hipotezė neatmetama
	WTIF	0,05	0,8656	H0 hipotezė neatmetama
	S&P500	0,05	0,9645	H0 hipotezė neatmetama
	FEDINT	0,05	0,9704	H0 hipotezė neatmetama
	BRENTF	0,05	4,90E-05	H0 hipotezė atmetama
VAR3	WTI	0,05	0,5983	H0 hipotezė neatmetama
	BRENTF	0,05	1,18E-02	H0 hipotezė atmetama
	INDPRO	0,05	0,9871	H0 hipotezė neatmetama
	FEDINT	0,05	0,4639	H0 hipotezė neatmetama
VAR4	WTI	0,05	0,1869	H0 hipotezė neatmetama
	WTIF	0,05	0,662	H0 hipotezė neatmetama
	BRENTF	0,05	<2,2e-16	H0 hipotezė atmetama
	WTIBDMLN	0,05	0,6523	H0 hipotezė neatmetama
	OPECBDMLN	0,05	0,696	H0 hipotezė neatmetama
	USDIND	0,05	0,919	H0 hipotezė neatmetama
VAR5	WTI	0,05	0,9779	H0 hipotezė neatmetama
	BRENTF	0,05	2,42E-04	H0 hipotezė atmetama
	INDPRO	0,05	0,9972	H0 hipotezė neatmetama

Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

Pagal gautus rezultatus galima daryti išvadą, jog H_0 hipotezė atmetama ir Grangerio priežastingumą turi tik VMT ir BRENTF atvejai. Reiškiasi jie yra vieninteliai rodikliai, kurių praeities reikšmių įtraukimas reikšmingai pagerina kitų, VAR sistemoje esančių kintamųjų prognozes. Atsižvelgiant į kintamųjų WTI ir BRENTF grafinę analizę, nėra nieko pernelyg stebėtino, kad BRENTF turi Grangerio priežastingumą visuose sudarytuose VAR modeliuose, kadangi vizualiai buvo matoma, jog WTI kaina labai dažnai seka BRENT naftos ateities sandorių judėjimo kryptį.

2.2.7. Sudarytų VAR modelių liekanų analizė

Sudarius VAR modelius svarbu atlikti liekanų (angl. *Residuals*) analizę, siekiant įvertinti modelio tinkamumą ir efektyvumą analizuojant laiko eilutes. Taipogi, liekanų analizė gali padėti atsakyti į klausimą, ar modeliai yra tinkami prognozavimui (Clarke ir Granato, 2005). Pirmiausia, „R Studio“ funkcijos „*serial.test()*“ iš paketo „*vars*“ pagalba nustatoma, ar sudarytų VAR modelių liekanos yra autokoreliuotos, ar ne. Testas susidaro iš dviejų hipotezių - H_0 ir H_1 , kurių prielaidos yra:

H_0 : Autokoreliacijos liekanose nėra ($p - value > 0,05$)

H_1 : Autokoreliacijos liekanose yra ($p - value < 0,05$)

7 lentelėje pateikiami sudarytų VAR modelių liekanų autokoreliacijos testo rezultatai. Pagal gautas testo p-reikšmes, galima daryti išvadą, jog liekanose autokoreliacijos nėra ir H_0 hipotezė neatmetama VAR4 ir VAR5 modelių atveju. Visų likusių modelių – VAR1, VAR2 ir VAR3 – atvejais H_0 hipotezė yra atmetama ir liekanos šiuose modeliuose autokoreliuoja. Teoriškai, modelio paklaidos savyje turi talpinti grynai atsitiktinį poveikį turinčius veiksnius („baltąjį triukšmą“), tačiau praktiškai dažniausiu atveju taip nėra, kadangi šiuo atveju COVID-19 pandemija ar Ukrainos-Rusijos konflikto sukelti kainų pokyčiai nėra atsitiktiniai veiksniai, o įvykiai, kurie turėjo realų poveikį naftų kainų formavimuisi. Tas matosi ir VAR5 modelio atveju, kurio pagalba modeliuojami 2024 m., kurie, kaip jau minėta anksčiau, ypač geopolitiškai, yra žymiai mažiau kompleksiški nei 2020, 2021, 2022 ar 2023 metai:

7 Lentelė: Sudarytų VAR modelių liekanų autokoreliacijos testo rezultatai:

VAR Modelis:	P-value pas. Int.	P-value reikšmė:	Išvada:
VAR1	0,05 (5%)	1,38E-07	H0 hipotezė atmetama
VAR2	0,05 (5%)	<2,2e-16	H0 hipotezė atmetama
VAR3	0,05 (5%)	2,68E-03	H0 hipotezė atmetama
VAR4	0,05 (5%)	0,2776	H0 hipotezė neatmetama
VAR5	0,05 (5%)	0,06504	H0 hipotezė neatmetama

Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

Analizuojant regresijų rezultatus, svarbu išsiaiškinti, **ar liekanų dispersija yra pastovi**, todėl toliau tiriama, ar sudarytų VAR modelių liekanos yra homoskedastiškos, ar heteroskedastiškos. Norint, kad sudarytas modelis būtų tikslesnis, liekanos turi būti homoskedastiškos – vadinasi turėti pastovią dispersiją. Priešingas atvejis, kuomet liekanų dispersija nėra pastovi, vadinamas heteroskedastišku (CFI, 2024). Sudarytų VAR modelių liekanų homoskedatiškumui arba heteroskedatiškumui nustatyti naudojama „R Studio“ funkcija „*arch.test*“ iš „*vars*“ paketo. Testas susidaro iš hipotezių H_0 ir H_1 , kurių prielaidos yra:

H_0 : Modelio liekanos yra homoskedastiškos ($p - value > 0,05$)

H_1 : Modelio liekanos yra heteroskedastiškos ($p - value < 0,05$)

Pagal 8-oje lentelėje pateiktus modelių liekanų testo rezultatus matoma, jog VAR1-VAR4 modelių atveju, p-reikšmės gerokai didesnės už 0,05, ko pasekoje H_0 hipotezės yra neatmetamos. H_0 hipotezė atmetama VAR5 modelio atveju, kurio liekanos, atsižvelgiant į pasirinktą 5% pasiklivimo intervalą, yra silpnai, tačiau heteroskedastiškos. Todėl galima daryti išvadą, jog sudarytų VAR1-VAR4 modelių liekanos turi pastovią dispersiją ir yra homoskedastiškos, o VAR5

modelio – su pasirinktu 5% pasiklivimo intervalu yra silpnai heteroskedastiškos, t. y. neturi visiškai pastovios dispersijos:

8 Lentelė: Sudarytų VAR modelių liekanų dispersijos pastovumo testo rezultatai:

VAR Modelis:	P-value pas. Int.	P-value reikšmė:	Išvada:
VAR1	0,05 (5%)	0,9469	H0 hipotezė neatmetama -> liekanos homoskedastiškos
VAR2	0,05 (5%)	1	H0 hipotezė neatmetama -> liekanos homoskedastiškos
VAR3	0,05 (5%)	0,9469	H0 hipotezė neatmetama -> liekanos homoskedastiškos
VAR4	0,05 (5%)	1	H0 hipotezė neatmetama -> liekanos homoskedastiškos
VAR5	0,05 (5%)	0,04419	H0 hipotezė atmetama -> liekanos heteroskedastiškos

Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

Toliau, pasitelkiant „R Studio“ funkciją „*normality.test()*“ iš „vars“ paketo, tiriama, ar sudarytų VAR modelių liekanos yra pasiskirsčiusios pagal daugiamačių normalųjį skirstinį. Tai koreliuojančių kintamųjų atsitiktinių vektorių skirstinys, kur kiekvienas vektoriaus elementas turi vienanarį normalųjį skirstinį. Paprasčiausiu atveju tarp kintamųjų nėra jokios koreliacijos, o vektorių elementai yra nepriklausomi vienmačiai normalūs atsitiktiniai dydžiai. Tai vienas iš pagrindinių skirstinių, leidžiančių efektyviai įvertinti parametrus. Kuomet liekanos atitinka daugiamačių normalųjį skirstinį, gali būti patikimai taikomi standartiniai statistiniai testai, pasikliautiniai intervalai ir hipotezių testai, užtikrinant, kad modelio išvados bus patikimos ir tikslios (Mathworks, 2024).

Šio testo hipotezių H_0 ir H_1 prielaidos yra:

H_0 : Pagal daugiamačių normalųjį skirstinį ($p - value > 0,05$)

H_1 : Ne pagal daugiamačių normalųjį skirstinį ($p - value < 0,05$)

Pagal 9-ojo lentelėje pateiktus rezultatus galima daryti išvadą, jog VAR1-VAR4 modeliuose H_0 hipotezė nėra atmetama, ir šiuose modeliuose liekanos pasiskirsčiusios pagal daugiamačių normalųjį skirstinį. Tuo tarpu VAR5 atveju – atmetama ir liekanos nėra pasiskirsčiusios pagal daugiamačių normalųjį skirstinį:

9 Lentelė: Sudarytų VAR modelių liekanų pasiskirstymo testo rezultatai:

VAR Modelis:	P-value pas. Int.	JB-Test P-value:	Skewness P-value:	Kurtosis P-value:	Išvada:
VAR1	0,05 (5%)	0,7548	0,6725	0,6126	H0 hipotezė neatmetama
VAR2	0,05 (5%)	0,294	0,6422	0,1312	H0 hipotezė neatmetama
VAR3	0,05 (5%)	0,07884	0,1916	0,09119	H0 hipotezė neatmetama
VAR4	0,05 (5%)	0,1157	0,09996	0,2894	H0 hipotezė neatmetama
VAR5	0,05 (5%)	0,001002	0,01317	0,008471	H0 hipotezė atmetama

Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

Galiausiai, atliekamas testas siekiant nustatyti, ar sudarytų VAR modelių liekanose egzistuoja **struktūriniai lūžiai**. Jei liekanose egzistuoja struktūriniai lūžiai, savo ruožtu tai reiškia, jog modelis nėra stabilus. Testas atliekamas naudojant „*stability()*“ funkciją iš paketo „*vars*“, o šio testo hipotezių H_0 ir H_1 prielaidos yra:

H_0 : *Struktūrinis lūžis liekanose egzistuoja*

H_1 : *Struktūrinis lūžis liekanose neegzistuoja*

Priešingai nei prieš tai atlikti modelių liekanų autokoreliacijos, homoskedastiškumo ir normaliojo skirstinio testai, šis testas remiasi ne p-reikšmių įverčiais, tačiau grafine analize. Struktūriniai lūžiai egzistuoja ir H_0 hipotezė nėra atmetama tuo atveju, jei modelio kintamųjų grafikų kreivės kerta grafike nurodytas apatinę ar viršutinę ribas. 2-ame priede (žr. 2) pateikiami grafikai (žr. 17 pav., 18 pav., 19 pav., 20 pav., ir 21 pav.), kurie savo ruožtu atvaizduoja sudarytų VAR1, VAR2, VAR3, VAR4 ir VAR5 modelių stabilumo testo rezultatus. Remiantis pateiktais grafikais, galima teigti, jog nei viename iš sudarytų modelių liekanose struktūriniai lūžiai neegzistuoja, o modeliai VAR1 ir VAR3 elgiasi ypač stabiliai.

Apibendrinant VAR modelių liekanų analizę, galima teigti, jog rezultatai yra teigiami. Kai kurių modelių liekanose egzistuoja autokoreliacija, tačiau šiuo atveju ji padeda padidinti sudarytų modelių statistines galimybes. VAR1, VAR2, VAR3, VAR4 modelių liekanos homoskedastiškos, pasiskirsčiusios pagal normalųjį skirstinį, tuo tarpu VAR5 modelio liekanos - silpnai heteroskedastiškos ir pasiskirsčiusios ne pagal daugiamatį normalųjį skirstinį. Visų sudarytų modelių liekanos neturi struktūrinių lūžių bei yra stabilios. Galima teigti, jog sudaryti VAR modeliai yra tinkami tolimesniam tyrimui ir WTI kainos prognozavimui.

2.2.8. Sudarytų VAR modelių impulso-atsako analizė

Impulsinio atsako analizės tikslas – aprašyti modelio kintamųjų raidą reaguojant į vieno ar kelių kintamųjų šoką. Ši savybė leidžia atsekti vieno smūgio perdavimą kitu atveju triukšmingoje lygčių sistemoje, todėl tai labai naudinga priemonė vertinant ekonominę politiką (Mohr, 2020). „R Studio“ programos aplinkoje impulso-atsako analizė atliekama funkcijos „*irf()*“ pagalba iš „*vars*“ paketo. Sudarytų VAR1, VAR2, VAR3, VAR4 bei VAR5 modelių atveju, svarbiausia yra išsiaiškinti, kaip modeliams sudaryti panaudotų kintamųjų šokai paveikia pagrindinį tiriamą kintamąjį – WTI naftos kainą. 3-ame priede (žr. 3) pateikiami grafikai (žr. 22 pav., 23 pav., 24 pav., 25 pav. ir 26 pav.), kuriuose atvaizduojamas WTI kintamojo atsakas į kitų, modelius sudarančių kintamųjų, šokus.

22 pav. pateikiami WTI kintamojo impulso-atsako grafikai sudarytame **VAR1** modelyje. Pagal grafikus galima daryti išvadą, jog visų kintamųjų – BRENTF, DJOG ir VMT šokų atvejais, analizuojamas kintamasis WTI reaguoja gana stipriai. WTI stipriausiai iš visų reaguoja į BRENT naftos kainos ateities sandorių kintamojo (BRENTF) šoką, tačiau po pirminio šoko, efektas yra gan stabiliai silpstantis. Kiek priešingai yra DJOG ir VMT rodiklių atveju, kadangi pirmaisiais periodais po šoko, WTI nereaguoja taip stipriai kaip BRENTF šoko atveju, tačiau didesni poveikiai atsiranda ilguoju laikotarpiu.

23 pav. pateikiami WTI kintamojo impulso-atsako grafikai sudarytame **VAR2** modelyje, kuriuose matomas WTI atsakas į kintamųjų WTIF, BRENTF, FEDINT ir SP500 šokus. Šiuo atveju, WTI kintamasis stipriausiai reaguoja į WTI naftos kainos ateities sandorių (WTIF) šoką, tačiau tolimesniais periodais efektas sumažėja. BRENTF kintamasis turi stiprų poveikį kaip ir VAR1 atveju, tačiau priešingai nei WTIF atveju, jis tęsiasi pakankamai ilgai. SP500 ir FEDINT atvejais, pradiniais periodais šokai nėra patys didžiausi, tačiau šių kintamųjų poveikis gerokai sustiprėja vėlesniais laikotarpiais.

24 pav. pateikiami WTI kintamojo impulso-atsako grafikai sudarytame **VAR3** modelyje, kuriuose matomas WTI atsakas į kintamųjų BRENTF, INDPRO ir FEDINT šokus. Didžiausią pradinį šoką sukuria BRENTF, tačiau šiuo atveju jis labai greit silpsta ir vėlesniais laikotarpiais turi palyginus nežymų poveikį. Priešingai yra su kintamaisiais FEDINT ir INDPRO, kurie pradiniais laikotarpiais turi nežymų poveikį WTI, tačiau jis sustiprėja vėlesniais laikotarpiais – ypač FEDINT atveju.

25 pav. pateikiami WTI kintamojo impulso-atsako grafikai sudarytame **VAR4** modelyje, kuriuose matomas WTI atsakas į kintamųjų WTIF, BRENTF, WTIBDMLN, OPECBDMLN ir USDIND šokus. Kaip ir kitų modelių atvejais, stipriausią poveikį WTI turi BRENTF kintamojo šokas, kuris yra labai stiprus pirmaisiais periodais, tačiau vėliau poveikis ženkliai sumažėja. WTIF taipogi turi gan stiprų poveikį, tačiau jis yra silpstantis su tolygiai mažėjančiais pikais. Naftos gavybos apimtys – tiek WTIBDMLN, tiek OPECBDMLN, reaguoja pakankamai panašiai – pirmaisiais periodais turi gana didelį poveikį WTI, tačiau praėjus pikui poveikis yra slūgstantis. Iš visų sudarytų VAR modelių ir kintamųjų, įdomiausiai WTI reaguoja į kintamojo USDIND šoką. Pradiniais periodais WTI į USDIND šoką praktiškai nereaguoja, tačiau vėlesniais laikotarpiais įvyksta pakankamai stipri reakcija su dideliu pikui, o dar vėlesniais laikotarpiais reakcija pradeda slūgti.

26 pav. pateikiami WTI kintamojo impulso-atsako grafikai sudarytame **VAR5** modelyje, kuriuose matomas pagrindinio kintamojo WTI atsakas į savo paties bei kintamųjų BRENTF ir INDPRO impulsus. VAR5 modelis į impulsus reaguoja gan įdomiai – žvelgiant į grafikus,

kintamųjų atsakus galima apibūdinti kaip rezonuojančius. VAR5 modelyje, WTI reakcija prasideda staigiu ir stipriu neigiamu atsaku, kuris labai greitai virsta teigiamu poveikiu, tada vėl neigiamu. Po impulso vyksta nuolatinis pusiausvyros ieškojimas, o ilgalaikis impulso poveikis laikui bėgant silpsta, tačiau neturi aiškiai išreikštos teigiamos arba neigiamos tendencijos. Jei sistema paveikiama BRENTF impulso, pirminis WTI atsakas labai stiprus ir turi teigiamą poveikį, tačiau jis gan greit atslūgsta, ir tuomet vyksta trumpalaikiai perėjimai iš teigiamo, į neigiamą poveikį, su žemais pikais, su labai silpnai išreikšta perėjimo į teigiamą poveikį tendencija. Kintamasis INDPRO geriausiai atitinka rezonuojančio WTI atsako apibūdinimą – kintamojo reakcija kinta iš teigiamos į neigiamą su nemažais pikais, o ilguoju periodu nematoma aiški impulso poveikio kryptis – jis tiesiog nuolat kinta iš teigiamo į neigiamą.

Apibendrinant, galima teigti, jog visų sudarytų VAR modelių atveju, analizuojant impulso-atsako funkcijų grafikus, didžiausią poveikį WTI kintamajam turi BRENT naftos kainos ateities sandorių kintamasis (BRENTF). Taipogi, VAR4 atveju, stiprų, bet labai uždelstą poveikį WTI turi ir JAV dolerio nominalus indeksas (USDIND). VAR5 modelyje WTI įdomiai reaguoja INDPRO atsaką – jis labai banguojantis ir nerodo išreikštos teigiamos ar neigiamos tendencijos. Visų, VAR sistemose esančių kintamųjų šokai turi didesnę ar mažesnę poveikį analizuojamam WTI kintamajam, tačiau reakcijos dydis ir dinamikos labai priklauso nuo modelį sudarančių kintamųjų kiekio bei parinktos modelio eilės.

2.2.9. WTI kainos prognozavimas pasitelkiant VAR modelius

Toliau su sudarytais VAR modeliais atliekamos WTI naftos kainos prognozės ir su kiekvienu modeliu siekiama prognozuoti kintamojo rodmenis vienerius metus į priekį. 10-oje lentelėje pateikiama anksčiau sudarytų VAR modelių suvestinė – pavadinimas, panaudoti duomenys ir jų intervalas. Taipogi nurodoma sudarytų modelių eilė bei kokie metai bus prognozuojami, pasitelkus konkretų modelį:

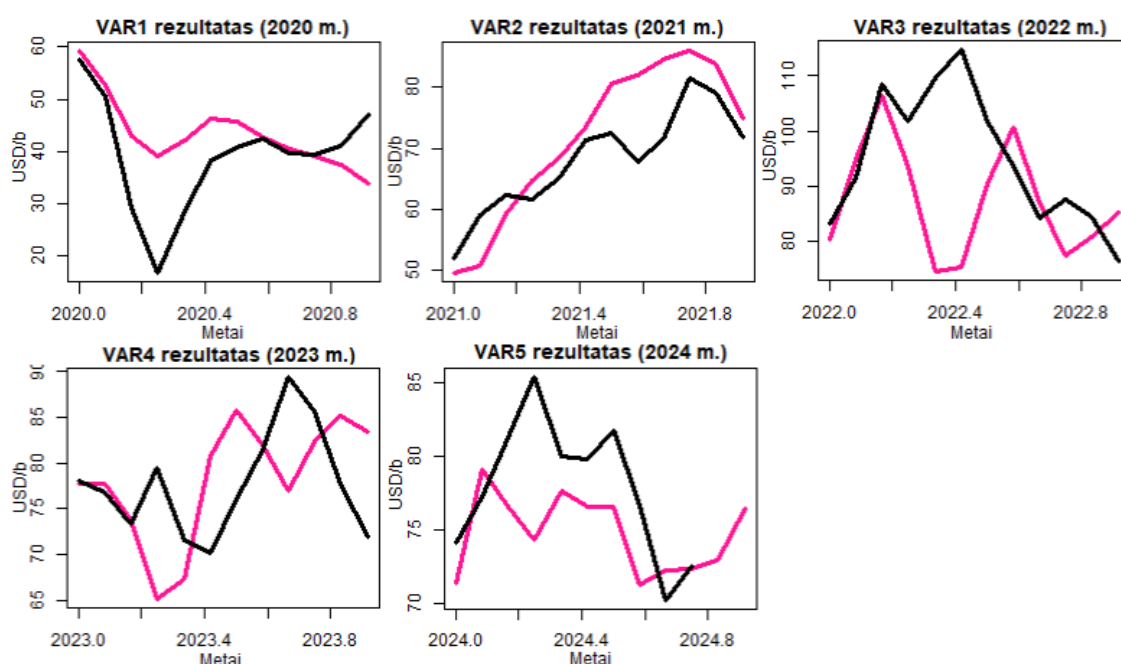
10 Lentelė: Sudarytų VAR modelių ir prognozuojamų metų informacija

VAR Modelis:	Prognozuojami metai:	Duomenų bazė:	Modeliui sudaryti panaudoti kintamieji:	VAR modelio eilė:
VAR1	2020 m.	2015-2019 m.	WTI, BRENTF, DJOG, VMT	9
VAR2	2021 m.	2016-2020 m.	WTI, WTIF, BRENTF, SP500, FEDINT	8
VAR3	2022 m.	2017-2021 m.	WTI, BRENTF, INDPRO, FEDINT	10
VAR4	2023 m.	2018-2022 m.	WTI, WTIF, BRENTF, WTIBDMLN, OPECBDMLN, USDIND	5
VAR5	2024 m.	2019-2023 m.	WTI, BRENTF, INDPRO	10

Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

Pagal 10 lentelę matoma, jog aukščiausios eilės modeliai – VAR3 ir VAR5, o žemiausios – VAR4, tačiau VAR4 modelį sudaro daugiausiai kintamųjų – 6. Mažiausiai kintamųjų sudaro modelį VAR5 – tik 3, tuo tarpu VAR1 ir VAR3 modeliai sudaryti pasitelkiant 4 kintamuosius. Galima atkreipti dėmesį ir į tai, jog visi modeliai, apart VAR4, yra pakankamai aukštų eilių (atitinkamai 9, 8 ir 10). Verta paminėti ir tai, kad siekiant į prognozuojamus metus nepernešti pernelyg daug praėjusių periodų triukšmo, visiems modeliams išlaikoma stabili, 5 metų ilgio pradinių duomenų bazė. Kiekvieno atvejo prognozėms atlikti naudojama funkcija „*predict()*“ iš „R Studio“ programos paketo „*vars*“. 27 pav. pateikiami prognozių rezultatai grafine forma:

27 pav. Sudarytų VAR modelių prognozių rezultatai WTI kintamajam



Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

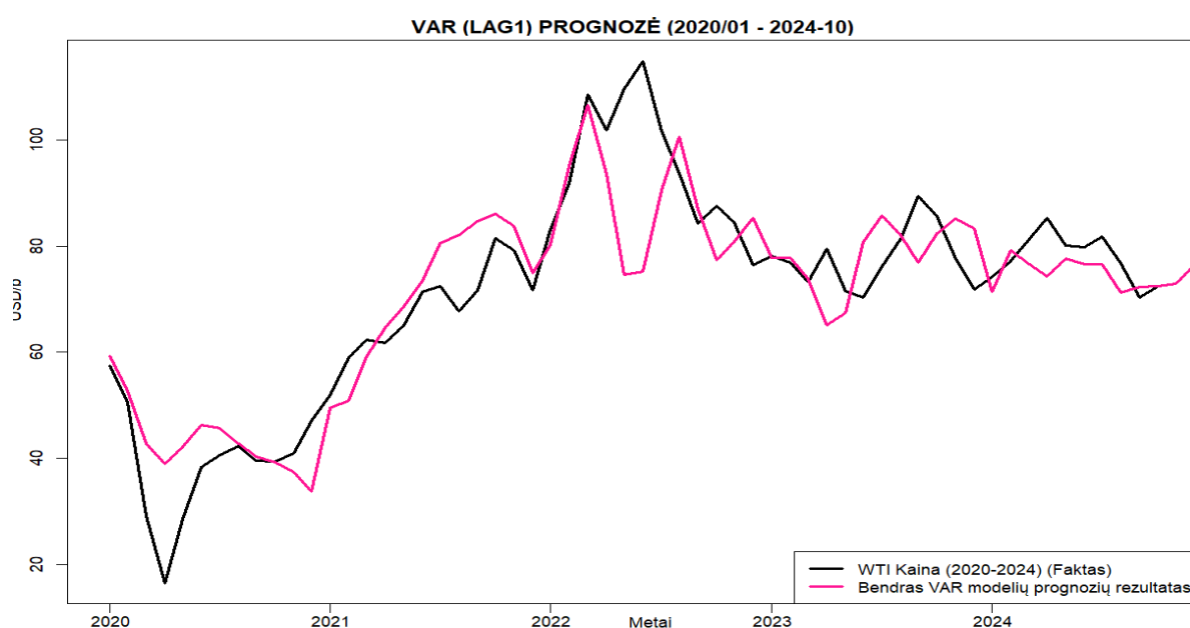
Grafikuose esančios juodos linijos indikuoja faktinę WTI naftos kainą prognozuojamais metais, o rausva – sudarytų VAR modelių prognozės. Atsižvelgiant į pateiktus rezultatus, galima kiekvieno modelio atvejui padaryti tam tikras išvadas:

- VAR1 geba pakankamai tiksliai prognozuoti 2020 metų pradžią ir dalį 3 ketvirčio. Gautos prognozės tendencija pakankamai tiksliai pagauna realius kainos svyravimus, ypač pirmus 3-is metų ketvirčius, bet visai neatitinka realios WTI kainos krypties 4 ketvirtyje. Taipogi, nors pirmus 3-is ketvirčius realios kainos tendencija ir yra sekama, tačiau modelis negeba užfiksuoti staigaus kainos kritimo Balandžio mėnesį. Apibendrinant, VAR1 modelį galima vertinti teigiamai, kadangi nors ir ne idealiai, tačiau geba užfiksuoti naftos kainos kitimo dinamiką;

- VAR2 modelis, priešingai nei VAR1, negeba užfiksuoti tikslios kainos nei vienu 2021 m. laikotarpiu. Pačioje metų pradžioje jis WTI kainą pernelyg nuvertina, o vėlesniais laikotarpiais – perversina. Tačiau, priešingai nei VAR1, VAR2 geba tiksliai fiksuoti naftos kainos kitimo dinamiką visu 2021 m. laikotarpiu, ir ypač pačiame metų gale;
- VAR3 modelis, kaip ir VAR1 modelis, geba puikiai užfiksuoti kaip kito naftos kaina 2022 metų pradžioje ir beveik idealiai užfiksuoti pirmąjį 2022 m. piką Kovo mėnesį. Tačiau priešingai nei reali kaina, kuri augo toliau, modelis prognozuoja pakankamai staigų kritimą. Antra metų pusė nėra prognozuota idealiai, tačiau yra pagaunama WTI kainos kitimo dinamika;
- VAR4 modelis, kaip ir kiti nagrinėti modeliai, puikiai prognozuoja pirmus kelis 2024 metų mėnesius. Vėlesniais laikotarpiais jis negeba užfiksuoti realių kainų, tačiau geba daugmaž apytiksliai prognozuoti kainos judėjimo kryptį.
- VAR5 modelio prognozė negeba užfiksuoti faktinių WTI kainos reikšmių – vertės prognozuojamos žemesnės nei faktinės, ir nepagaunamas pikas Balandžio mėnesį, tačiau prognozuojamos reikšmės išlaiko stabilų atstumą nuo faktinių reikšmių, o fiksuojama dinamika – labai panaši į faktinę.

28 pav. pateikiamas grafikas, kuriame nurodomas 2020 Sausio - 2024 m. Lapkričio mėn. WTI kainos grafikas, ir sujungtas, sudarytų VAR1, VAR2, VAR3, VAR4 bei VAR5 modelių prognozių rezultatas:

28 pav. WTI kainos eilutė nuo 2020 m. Sausio mėn. iki 2024 m. Lapkričio mėn. ir sudarytų VAR modelių prognozių rezultatas:



Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

Atsižvelgiant į 28 pav. pateiktą grafiką, galima teigti, kad sudaryti modeliai gana tiksliai užfiksuoja kiekvieno tiriamo periodo pradžią, bei daugiau mažiau pakankamai neblogai užfiksuoja WTI naftos kainos tendencijų judėjimą. Apibendrinant grafinę rezultatų analizę, visumoje sudarytų modelių prognozes galima vertinti teigiamai.

2.2.10. Sudarytų VAR modelių prognozių tikslumo įvertinimas

Toliau atliekamas gautų prognozių tikslumo įvertinimas pasitelkiant vidutinę absoliutinę (MAE), vidutinę kvadratinę (MSE), vidutinę kvadratinės šaknies (RMSE) ir vidutinę absoliutinę procentinę (MAPE) paklaidas.

Vidutinė absoliutinė paklaida (MAE) naudojama regresijos modelių tikslumui įvertinti. Ji matuoja vidutinį absoliutų skirtumą tarp prognozuotų ir faktinių įverčių. Skirtingai nuo kitų metrikų, MAE klaidų neskaičiuoja kvadratu, o tai reiškia, kad suteikia visoms klaidoms vienodą svorį, nepaisant jos krypties. Ši paklaida naudinga, norint išsiaiškinti modeliuojamų verčių paklaidų mastą (Ahmed, 2023). 36 formulėje pateikiama MAE formulė:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - X_i|}{n} \quad (36)$$

Kur:

n – stebėjimų kiekis;

Y_i – reali reikšmė duomenų taške i ;

X_i – prognozuota reikšmė duomenų taške i .

Vidutinė kvadratinė paklaida (MSE) matuoja klaidų kiekį statistiniuose modeliuose. MSE įvertina vidutinį kvadratinį skirtumą tarp stebimų ir prognozuojamų verčių. Kuomet modelyje nėra klaidų, MSE lygi 0, o klaidų skaičiui augant, auga ir MSE vertė (Frost, 2024). 37 formulėje pateikiama MSE formulė:

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2}{n} \quad (37)$$

Kur:

n – stebėjimų kiekis;

Y_i – reali reikšmė duomenų taške i ;

X_i – prognozuota reikšmė duomenų taške i .

Vidutinė kvadratinės šaknies paklaida (RMSE) matuoja vidutinį skirtumą tarp faktinių ir sudaryto modelio prognozuotų reikšmių. Didžiausias RMSE privalumas – paklaidos dydis rodomas tais pačias vienetais kaip ir prognozuojamos reikšmės, o tai savo ruožtu labai palengvina interpretaciją (SAP, 2024). 38 formulėje pateikiama RMSE formulė:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2}{n - p}} \quad (38)$$

Kur:

n – stebėjimų kiekis;

p – parametrų įverčių skaičius, įskaitant konstantą;

Y_i – reali reikšmė duomenų taške i ;

X_i – prognozuota reikšmė duomenų taške i .

Vidutinė absoliuti procentinė paklaida (MAPE) yra vidutinės absoliučios paklaidos (MAE) procentinis ekvivalentas. Vidutinė absoliuti procentinė paklaida matuoja vidutinį modelio padarytos klaidos dydį arba vidutinį prognozių atstumą (Roberts, 2023). 39 formulėje pateikiama RMSE formulė:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|Y_i - X_i|}{Y_i} \times 100}{n} \quad (39)$$

Kur:

n – stebėjimų kiekis;

Y_i – reali reikšmė duomenų taške i ;

X_i – prognozuota reikšmė duomenų taške i .

Toliau pateikiami sudarytų VAR modelių MAE, MSE, RMSE ir MAPE parametrai:

11 Lentelė: Sudarytų VAR modelių paklaidų reikšmės

Paklaida:	VAR1	VAR2	VAR3	VAR4	VAR5	MIN:	MAX:
MAE	7,062	5,842	11,226	6,321	3,894	VAR5	VAR3
MSE	96,8	50,03	271,811	64,996	23,392	VAR5	VAR3
RMSE	9,838	7,073	16,486	8,062	4,836	VAR5	VAR3
MAPE	25,8%	8,5%	11,1%	8,1%	4,8%	VAR5	VAR1

Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

Pagal lentelėje pateiktus rezultatus galima daryti išvadą, jog mažiausią absoliutinę paklaidą (MAE) turi VAR5 modelis, o didžiausią – VAR3. Vidutinės kvadratinės paklaidos (MSE) ir vidutinės kvadratinės šaknies paklaidos (RMSE) atvejais turimi analogiški rezultatai, tuo tarpu VAR4 ir VAR1 modeliai turi kiek didesnes paklaidas nei VAR2, tačiau gerokai mažesnes nei VAR3. Vidutinės absoliučios procentinės paklaidos (MAPE) atveju, mažiausius nuokrypius rodo VAR4 ir VAR5 modeliai. VAR1 ir VAR3 modelių atvejų MAPE paklaidos yra aukštesnės. Apibendrinant, galima teigti, jog sudaryti modeliai nėra idealus ir jų gautose prognozėse

egzistuoja paklaidos. Žemiausias paklaidas turi VAR5 modelis, VAR1 paklaidos yra kiek didesnes, tačiau didžiausios prognozių paklaidos užfiksuotos VAR3 modelyje, kuris buvo naudotas 2022 m. prognozuoti. Aukštas paklaidas galėjo lemti du faktoriai. Pirmiausia, iš duomenų eilučių nebuvo pašalintas žemiausias naftos kainos taškas (2020 m. Balandis). Sekantis – naftos kaina yra itin chaotiška, ir dažnu atveju didesnius pokyčius (kaip ir VAR3 neužfiksuotą 2022 m. aukščiausią tašką) lemia ne tam tikros ekonominės aplinkybės, tačiau politiniai sprendimai, kurių pasekmės nuspėti yra sudėtinga. Nagrinėjant sudarytų modelių paklaidų įverčius, gaunamas labai įdomus rezultatas, atsižvelgiant į modelių liekanų tyrimus – VAR5 modelio liekanos – silpnai heteroskedastiškos bei ne visai pasiskirsčiusios pagal normalųjį skirstinį – teoriškai, dėl šių priežasčių jo tikslumas turėtų būti kaip tik žemesnis, nei kitų sudarytų modelių, kuriose liekanos yra pasiskirsčiusios pagal normalųjį skirstinį bei yra homoskedastiškos. Reiškiasi, šiuo atveju gavosi taip, kad modelis, kurio kokybė dėl liekanų homoskedastiškumo ir normalumo hipotezių atmetimo turėtų būti prastesnė, o prognozavimo tikslumas – žemesnis, gauna apčiuopiamai tikslesnę prognozę ir mažesnes paklaidas nei modeliai, kurie tenkina kokybinius reikalavimus.

2.3. VECM modelių sudarymas

VAR laiko eilučių modeliai dažniausiai yra pagrįsti VAR taikymu stacionarioms laiko eilutėms, arba laiko eilutėms, kurios skirtumų (angl. *differentiation*) pagalba buvo pervestos į stacionarią formą, tačiau tokiu būdu galimas atvejis, kuomet prarandamas svarbus, ilgalaikis ryšys tarp kintamųjų, vadinamas kintamųjų kointegruotumu. Išsiaiškinti, ar egzistuoja kointegracija tarp kintamųjų, galima atliekant Johanseno testą. Jei kointegracija tarp kintamųjų egzistuoja, tuomet naftos kainai analizuoti ir prognozuoti galima taikyti vektorinius paklaidų korekcijos modelius (angl. Vector Error Correction Model), sutrumpintai vadinamus VECM (Maitra, 2019). Tai yra kointegruotas VAR modelis, kurį sudaro $p - 1$ eilės kintamųjų skirtumų VAR modelis ir klaidų korekcijos narys, išvestas iš žinomo (įvertinto) kointegracinio ryšio. Toliau pateikiama bendrinė VECM modelio formulė (40) (Winarno et al., 2021):

$$\Delta Y_t = \alpha \beta' Y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \Gamma_i \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (40)$$

Kur:

Δ – diferencijavimo operatorius, kur $\Delta Y_{t-i} = Y_t - Y_{t-1}$;

Y_{t-i} – endogeninis vektorinis kintamasis su 1-uju vėlavimu;

ε_t – vektorinė liekana;

Γ_i – i-tojo endogeninio kintamojo koeficiento $K \times K$ eilės matrica;

α – vektorinis koregavimas (matrica, kurios eilė $K \times r$;

β – vektorinė kointegracijos (ilgalaikio parametro) matrica, kurios eilė $K \times r$.

2.3.1. Kintamųjų kointegruotumas

Prieš sudarant VECM modelius, reikia išsiaiškinti, ar turimi kintamieji yra kointegruoti, ar ne. Kointegracijos testas naudojamas siekiant nustatyti, ar egzistuoja ryšys tarp dviejų ar daugiau laiko eilučių ilguoju laikotarpiu (Indeed, 2022). Kointegracijos testais nustatoma, ar dvi ar daugiau nestacionarių laiko eilučių yra integruotos taip, kad ilguoju laikotarpiu nenukrypsta nuo pusiausvyros. Kointegracija, kaip koreliacija, neparodo, ar dviejų ar daugiau laiko eilučių duomenys arba kintamieji ilguoju laikotarpiu juda kartu. Priešingai, ji matuoja, ar jų vidurkių skirtumas išlieka pastovus, ar ne. Vadinasi, tai reiškia, kad du, visiškai skirtingi atsitiktiniai kintamieji gali turėti vieną bendrą tendenciją, kuri juos sujungia ilguoju laikotarpiu. Jei taip atsitinka, sakoma, kad kintamieji yra kointegruoti (Gupta, 2024). Siekiant nustatyti, ar turimos kintamųjų laiko eilutės yra kointegruotos, atliekamas Johanseno kointegracijos testas, kurio hipotezės yra:

H_0 : Kointegracija tarp kintamųjų X ir Y neegzistuoja ($Test < Kritinė reikšmė$)

H_1 : Kointegracija tarp kintamųjų X ir Y egzistuoja ($Test > Kritinė reikšmė$)

Testui atlikti naudojama „R Studio“ programos paketo „urca“ funkcija „ca.jo“. 12 lentelėje pateikiami nagrinėtų kintamųjų kointegracijos rezultatai:

12 Lentelė: Johanseno kointegracijos testo rezultatai

Kintamųjų kombinacija:		5 pct. Kritinė reikšmė:	Test:	Išvada:
WTI	WTIF	15,67	61,77	H0 hipotezė atmetama - Kointegruoja
WTI	WTIBDMLN	15,67	10,69	H0 hipotezė neatmetama
WTI	BRENTF	15,67	91,2	H0 hipotezė atmetama - Kointegruoja
WTI	BRENTGP	15,67	13,68	H0 hipotezė neatmetama
WTI	OPECBDMLN	15,67	5,94	H0 hipotezė neatmetama
WTI	SP500	15,67	18,39	H0 hipotezė atmetama - Kointegruoja
WTI	DJCI	15,67	16,4	H0 hipotezė atmetama - Kointegruoja
WTI	DJOG	15,67	14,04	H0 hipotezė neatmetama
WTI	FEDINT	15,67	14	H0 hipotezė neatmetama
WTI	INDPRO	15,67	14,14	H0 hipotezė neatmetama
WTI	USDIND	15,67	17,65	H0 hipotezė atmetama - Kointegruoja
WTI	VMT	15,67	30,53	H0 hipotezė atmetama - Kointegruoja

Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

Kadangi tiriamą WTI naftos kainą, šiuo atveju svarbiausia išsiaiškinti, kaip kiti turimi kintamieji sąveikauja su WTI rodikliu. Verta paminėti ir tai, kad testas atliekamas su bazine rodiklių forma (nestacionaria). Pagal 12 lentelėje pateiktus Johanseno kointegracijos testo rezultatus matoma, jog su WTI kointegruoja su 6 kitais turimais kintamaisiais - WTIF, BRENTF,

SP500, DJCI, USDIND ir VMT. Apibendrinant, kadangi turime tarpusavyje kointegruojančių kintamųjų, toliau galima žengti prie VECM modelių sudarymo. Kaip ir VAR modelių sudarymo atveju, kiekvienam analizuojamam 2020-2024 m. laikotarpiui bus sudaromas atskiras modelis. VECM modeliams sudaryti, „R Studio“ programoje naudojama „ca.jo“ ir „cajorls“ komandų kombinacija iš „urca“ paketo. Panaudotų duomenų laiko eilučių ilgiai analogiški anksčiau sudarytiems VAR modeliams – visai atvejais išlaikoma 5 m. ilgio bazė.

2.3.2. VECM1 – modeliuojami 2020 m.

VECM1 modelio tikslas yra analogiškas anksčiau sudarytam VAR1 modeliui. Modeliuojami 2020 m. siekiant prognozuoti WTI naftos kainą. VECM1 modeliui sudaryti pasirinkti 3 kintamieji – WTI naftos kaina (WTI), Brent naftos kainos ateities sandoriai (BRENTF) ir JAV centrinio banko palūkanų norma (FEDINT). „R Studio“ programos funkcijos „cbind“ pagalba pasirinkti kintamieji sujungiami į vieną vektorių. Tada, pasitelkus „window“ funkcija, gaunama modelio duomenų bazė, kurios trukmė nuo 2015 iki 2019 m. Toliau sudarytam vektoriui pritaikoma jau aptarta „ca.jo“ komanda, kuri padeda išsiaiškinti, kaip tarpusavyje sąveikauja VECM1 modeliui sudaryti pasirinkti kintamieji ir tuo pačiu parenkama VECM modeliui reikalingo VAR modelio eilė (VECM komponentė „p“). Modelio eilė pasirenkama mechaniškai atmetinėjant vėlavimus ir analizuojant gaunamo modelio liekanų autokorelogramų (ACF) grafikus. Šiuo atveju, geriausi rezultatai pasiekiami taikant 11 eilės VAR. Sudaryto vektoriaus Johanseno kointegracijos rezultatai pateikiami 13 lentelėje:

13 Lentelė: VECM1 duomenų vektoriaus Johanseno kointegracijos testo rezultatai

Kointegruojančių kintamųjų kiekis:	5 pct. Kritinė reikšmė:	Test:
$r = 0$	34,91	97,58
$r \leq 1$	19,96	35,2
$r \leq 2$	9,24	13,51

Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

Pagal pateiktus rezultatus galima daryti išvadą, jog tarp pasirinktų kintamųjų egzistuoja 2 kointegruojantys vektoriai. Sekančiam žingsniui, pasitelkiama „cajorls“ komanda, kuri naudojama paklaidų korekcijos modeliui sudaryti, remiantis „ca.jo“ funkcijos įvertintomis kointegruojančiomis regresijomis. Toliau esančiose 41-43 formulėse pateikiamos sudaryto VECM1 modelio bazinės lygtys:

$$WTI_t = \alpha_1\beta_{11}WTI_{t-1} + \alpha_2\beta_{12}BRENTF_{t-1} + \alpha_3\beta_{13}FEDINT_{t-1} + \sum_{i=1}^{11-1}(\Gamma_{i1}\Delta WTI_{t-i} + \Gamma_{i2}\Delta BRENTF_{t-i} + \Gamma_{i3}\Delta FEDINT_{t-i}) + \varepsilon_{1t} \quad (41)$$

$$BRENTF_t = \alpha_1\beta_{21}WTI_{t-1} + \alpha_2\beta_{22}BRENTF_{t-1} + \alpha_3\beta_{23}FEDINT_{t-1} + \sum_{i=1}^{11-1}(\Gamma_{i1}\Delta WTI_{t-i} + \Gamma_{i2}\Delta BRENTF_{t-i} + \Gamma_{i3}\Delta FEDINT_{t-i}) + \varepsilon_{2t} \quad (42)$$

$$FEDINT_t = \alpha_1\beta_{31}WTI_{t-1} + \alpha_2\beta_{32}BRENTF_{t-1} + \alpha_3\beta_{33}FEDINT_{t-1} + \sum_{i=1}^{11-1}(\Gamma_{i1}\Delta WTI_{t-i} + \Gamma_{i2}\Delta BRENTF_{t-i} + \Gamma_{i3}\Delta FEDINT_{t-i}) + \varepsilon_{3t} \quad (43)$$

2.3.3. VECM2 – modeliuojami 2021 m.

VECM2 modelis skirtas modeliuoti 2021 m. pasitelkiant 3 kintamuosius – WTI naftos kainą (WTI), Brent naftos kainos ateities sandorius (BRENTF) ir „Dow Jones“ bendrąjį žaliavų ateities sandorių indeksą (DJCI). Modeliui panaudotų duomenų vektoriaus ilgis - nuo 2016 iki 2020 m. VECM2 konstruojamas analogiškai VECM1, todėl darbas prasideda nuo komandos „ca.jo“, kuri padeda išsiaiškinti kointegracinius ryšius tarp pasirinktų kintamųjų. Taipogi, mechaniškai atmetinėjant vėlavimus ir analizuojant sudaryto modelio liekanų autokorelogramų (ACF) grafikus, pasirenkama VECM modeliui sudaryti reikalingo VAR modelio eilė. VECM2 atveju, geriausi rezultatai gaunami pasirenkant 9 eilės VAR modelį („p“ = 9). Sudaryto vektoriaus Johanseno kointegracijos rezultatai pateikiami 14 lentelėje:

14 Lentelė: VECM2 duomenų vektoriaus Johanseno kointegracijos testo rezultatai

Kointegruojančių kintamųjų kiekis:	5 pct. Kritinė reikšmė:	Test:
r = 0	34,91	52,86
r <= 1	19,96	22,73
r <= 2	9,24	7,06

Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

Priešingai nei sudaryto VECM1 modelio atveju, sudaromo VECM2 modelyje tarp pasirinktų kintamųjų egzistuoja tik 1 kointegruojantis vektorius. Toliau pasitelkiama „cajorls“ komanda ir remiantis „ca.jo“ funkcijos įvertintomis kointegruojančiomis regresijomis, sudaromas paklaidų korekcijos modelis. 44-46 formulėse pateikiamos sudaryto VECM2 modelio bazinės lygtys:

$$WTI_t = \alpha_1\beta_{11}WTI_{t-1} + \alpha_2\beta_{12}BRENTF_{t-1} + \alpha_3\beta_{13}DJCI_{t-1} + \sum_{i=1}^{9-1}(\Gamma_{i1}\Delta WTI_{t-i} + \Gamma_{i2}\Delta BRENTF_{t-i} + \Gamma_{i3}\Delta DJCI_{t-i}) + \varepsilon_{1t} \quad (44)$$

$$BRENTF_t = \alpha_1\beta_{21}WTI_{t-1} + \alpha_2\beta_{22}BRENTF_{t-1} + \alpha_3\beta_{23}DJCI_{t-1} + \sum_{i=1}^{9-1}(\Gamma_{i1}\Delta WTI_{t-i} + \Gamma_{i2}\Delta BRENTF_{t-i} + \Gamma_{i3}\Delta DJCI_{t-i}) + \varepsilon_{2t} \quad (45)$$

$$DJCI_t = \alpha_1\beta_{31}WTI_{t-1} + \alpha_2\beta_{32}BRENTF_{t-1} + \alpha_3\beta_{33}DJCI_{t-1} + \sum_{i=1}^{9-1}(\Gamma_{i1}\Delta WTI_{t-i} + \Gamma_{i2}\Delta BRENTF_{t-i} + \Gamma_{i3}\Delta DJCI_{t-i}) + \varepsilon_{3t} \quad (46)$$

2.3.4. VECM3 – modeliujami 2022 m.

VECM3 tikslas – modeliuoti 2022 m. pasitelkiant WTI naftos (WTI), Brent naftos ateities sandorių (BRENTF) kainas ir JAV pramonės gamybos bendrąjį indeksą (INDPRO). Panaudotų duomenų bazės ilgis – nuo 2017 iki 2021 m. Toliau atliekama kointegracijos ryšių tarp kintamųjų analizė ir analizuojant sudaryto modelio liekanų autokorelogramų (ACF) grafikus, pasirenkama VECM3 modeliui sudaryti reikalingo VAR modelio eilė. VECM3 atveju, geriausi rezultatai gaunami pasirenkant 11 eilės VAR modelį („p“ = 11). Tyrimui reikalingo Johanseno kointegracijos rezultatai pateikiami 15 lentelėje:

15 Lentelė: VECM3 duomenų vektoriaus Johanseno kointegracijos testo rezultatai

Kointegruojančių kintamųjų kiekis:	5 pct. Kritinė reikšmė:	Test:
r = 0	34,91	36,08
r ≤ 1	19,96	11,33
r ≤ 2	9,24	1,27

Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

Priešingai nei VECM1, tačiau analogiškai kaip ir VECM2, VECM3 atveju tarp kintamųjų egzistuoja tik 1 kointegruojantis vektorius. Toliau „cajorls“ komandos pagalba ir remiantis „ca.jo“ funkcijos įvertintomis kointegruojančiomis regresijomis, sudaromas paklaidų korekcijos modelis. 47-49 formulėse pateikiamos sudaryto VECM3 modelio bazinės lygtys:

$$WTI_t = \alpha_1\beta_{11}WTI_{t-1} + \alpha_2\beta_{12}BRENTF_{t-1} + \alpha_3\beta_{13}INDPRO_{t-1} + \sum_{i=1}^{11-1}(\Gamma_{i1}\Delta WTI_{t-i} + \Gamma_{i2}\Delta BRENTF_{t-i} + \Gamma_{i3}\Delta INDPRO_{t-i}) + \varepsilon_{1t} \quad (47)$$

$$BRENTF_t = \alpha_1\beta_{21}WTI_{t-1} + \alpha_2\beta_{22}BRENTF_{t-1} + \alpha_3\beta_{23}INDPRO_{t-1} + \sum_{i=1}^{11-1}(\Gamma_{i1}\Delta WTI_{t-i} + \Gamma_{i2}\Delta BRENTF_{t-i} + \Gamma_{i3}\Delta INDPRO_{t-i}) + \varepsilon_{2t} \quad (48)$$

$$INDPRO_t = \alpha_1\beta_{31}WTI_{t-1} + \alpha_2\beta_{32}BRENTF_{t-1} + \alpha_3\beta_{33}INDPRO_{t-1} + \sum_{i=1}^{11-1}(\Gamma_{i1}\Delta WTI_{t-i} + \Gamma_{i2}\Delta BRENTF_{t-i} + \Gamma_{i3}\Delta INDPRO_{t-i}) + \varepsilon_{3t} \quad (49)$$

2.3.5. VECM4 – modeliuojami 2023 m.

VECM4 modelis skirtas modeliuoti 2023 m. ir sudaromas analogiškai, kaip ir prieš tai aprašyti VECM modeliai. VECM4 skiriasi nuo prieš tai sudarytų modelių pora aspektų. Pirmų 3 modelių atveju, konstravimui buvo pasitelkta po 3 kintamuosius. VECM4 atveju buvo panaudoti 4 – WTI, BRENTF, DJCI ir globali Brent naftos kaina (BRENTGP). Sekantis aspektas – visi prieš tai sudaryti VECM modeliai turėjo pakankamai aukštas VAR modelio eiles (11, 9 ir atitinkamai 11). Šiuo atveju rezultatui pasiekti pakako 7 eilės („p“ = 7). 16 lentelėje pateikiami Johanseno kointegracijos rezultatai:

16 Lentelė: VECM4 duomenų vektoriaus Johanseno kointegracijos testo rezultatai

Kointegruojančių kintamųjų kiekis:	5 pct. Kritinė reikšmė:	Test:
$r = 0$	49,65	69,72
$r \leq 1$	34,91	37,05
$r \leq 2$	19,96	14,03
$r \leq 3$	9,24	3,8

Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

Pritaikius Johanseno testą konstruojant VECM4, buvo gauti analogiški rezultatai kaip ir konstruojant VECM2 ir VECM3, kuomet pasirinkti kintamieji sukuria tik vieną kointegruojantį vektorių. Remiantis įvertintomis regresijomis, sudaromas paklaidų korekcijos modelis. 50-53 formulėse pateikiamos sudaryto VECM4 modelio bazinės lygtys:

$$WTI_t = \alpha_1\beta_{11}WTI_{t-1} + \alpha_2\beta_{12}BRENTF_{t-1} + \alpha_3\beta_{13}BRENTGP_{t-1} + \alpha_4\beta_{14}DJCI_{t-1} + \sum_{i=1}^{7-1}(\Gamma_{i1}\Delta WTI_{t-i} + \Gamma_{i2}\Delta BRENTF_{t-i} + \Gamma_{i3}\Delta BRENTGP_{t-i} + \Gamma_{i4}\Delta DJCI_{t-i}) + \varepsilon_{1t} \quad (50)$$

$$BRENTF_t = \alpha_1\beta_{21}WTI_{t-1} + \alpha_2\beta_{22}BRENTF_{t-1} + \alpha_3\beta_{23}BRENTGP_{t-1} + \alpha_4\beta_{24}DJCI_{t-1} + \sum_{i=1}^{7-1}(\Gamma_{i1}\Delta WTI_{t-i} + \Gamma_{i2}\Delta BRENTF_{t-i} + \Gamma_{i3}\Delta BRENTGP_{t-i} + \Gamma_{i4}\Delta DJCI_{t-i}) + \varepsilon_{2t} \quad (51)$$

$$BRENTGP_t = \alpha_1\beta_{31}WTI_{t-1} + \alpha_2\beta_{32}BRENTF_{t-1} + \alpha_3\beta_{33}BRENTGP_{t-1} + \alpha_4\beta_{34}DJCI_{t-1} + \sum_{i=1}^{7-1}(\Gamma_{i1}\Delta WTI_{t-i} + \Gamma_{i2}\Delta BRENTF_{t-i} + \Gamma_{i3}\Delta BRENTGP_{t-i} + \Gamma_{i4}\Delta DJCI_{t-i}) + \varepsilon_{3t} \quad (52)$$

$$DJCI_t = \alpha_1\beta_{41}WTI_{t-1} + \alpha_2\beta_{42}BRENTF_{t-1} + \alpha_3\beta_{43}BRENTGP_{t-1} + \alpha_4\beta_{44}DJCI_{t-1} + \sum_{i=1}^{7-1}(\Gamma_{i1}\Delta WTI_{t-i} + \Gamma_{i2}\Delta BRENTF_{t-i} + \Gamma_{i3}\Delta BRENTGP_{t-i} + \Gamma_{i4}\Delta DJCI_{t-i}) + \varepsilon_{4t} \quad (53)$$

2.3.6. VECM5 – modeliujami 2024 m.

VECM4 modelis skirtas modeliuoti 2024 m. Atlikus nemažai bandymų su skirtingais kintamaisiais ir skirtingomis modelio eilėmis, buvo nustatyta, kad tiksliausia prognozė gaunama naudojant VECM modelį sudarytą iš 3 kintamųjų – tiriamojo WTI, BRENTF ir INDPRO. Ši kintamųjų kombinacija yra identiška prieš tai sudaryto VECM3 modelio atveju, kuriuo buvo siekiama prognozuoti 2022 m. Tai yra labai įdomu ir neįprasta, kadangi tai yra pirmas kartas tiek sudarytą VAR, tiek VECM modelių atveju, kuomet modeliui sudaryti ir gerai prognozei gauti tiko prieš tai jau panaudota kintamųjų kombinacija. Bandymai su kintamųjų kombinacija buvo kartojami taikant įvairius vėlavimus ir buvo nustatyta, jog geriausi rezultatai pasiekiami naudojant 9 eilės VAR modelį („ $p=10$ “). 17 lentelėje pateikiami pasirinkto kintamųjų vektoriaus Johanseno kointegracijos testo rezultatai:

17 Lentelė: VECM5 duomenų vektoriaus Johanseno kointegracijos testo rezultatai:

Kointegruojančių kintamųjų kiekis:	5 pct. Kritinė reikšmė:	Test:
$r = 0$	57,12	32,00
$r \leq 1$	22,19	17,85
$r \leq 2$	3,89	7,52

Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

Pritaikius Johanseno testą konstruojant VECM5, buvo gauta, kad pasirinkti kintamieji WTI, BRENTF ir INDPRO sudaro du kointegruojančius vektorius. Toliau esančiose 54-56 formulėse pateikiamos sudaryto VECM5 paklaidos korekcijos modelio bazinės lygtys, kurios yra beveik identiškos VECM3 modeliui – skiriasi tik p komponento eilė (VECM3 atveju $p = 11$):

$$WTI_t = \alpha_1 \beta_{11} WTI_{t-1} + \alpha_2 \beta_{12} BRENTF_{t-1} + \alpha_3 \beta_{13} INDPRO_{t-1} + \sum_{i=1}^{10-1} (\Gamma_{i1} \Delta WTI_{t-i} + \Gamma_{i2} \Delta BRENTF_{t-i} + \Gamma_{i3} \Delta INDPRO_{t-i}) + \varepsilon_{1t} \quad (54)$$

$$BRENTF_t = \alpha_1 \beta_{21} WTI_{t-1} + \alpha_2 \beta_{22} BRENTF_{t-1} + \alpha_3 \beta_{23} INDPRO_{t-1} + \sum_{i=1}^{10-1} (\Gamma_{i1} \Delta WTI_{t-i} + \Gamma_{i2} \Delta BRENTF_{t-i} + \Gamma_{i3} \Delta INDPRO_{t-i}) + \varepsilon_{2t} \quad (55)$$

$$INDPRO_t = \alpha_1 \beta_{31} WTI_{t-1} + \alpha_2 \beta_{32} BRENTF_{t-1} + \alpha_3 \beta_{33} BRENTGP_{t-1} + \sum_{i=1}^{10-1} (\Gamma_{i1} \Delta WTI_{t-i} + \Gamma_{i2} \Delta BRENTF_{t-i} + \Gamma_{i3} \Delta INDPRO_{t-i}) + \varepsilon_{3t} \quad (56)$$

2.3.7. Sudarytų VECM modelių autokorelogramų analizė

Autokorelogramų (ACF) analizė buvo atliekama dar modelių sudarymo metu, kadangi jos pagalba buvo pasirenkamos VECM modeliams sudaryti reikalingų VAR modelių eilės. 4-ame (žr. 4) priede esančiuose paveiksluose pateikiami sudarytų VECM modelių autokorelogramų (ACF) grafikai.

29 pav. (žr.) pavaizduoti sudaryto VECM1 modelio liekanų autokorelogramų grafikai. Ant pagrindinės matricos įstrižainės gauti grafikai yra pakankamai švarūs, tačiau tolimesniuose taškuose (FEDINT grafiko atveju 11-ame, BRENTF – 7-ame vėlavimuose) egzistuoja nežymios koreliacijos. Šiuo atveju, kadangi turimos koreliacijos nėra stiprios, poveikio prognozavimo tikslumui jos neturi.

30 pav. (žr.) atvaizduotos VECM2 modelio autokorelogramos. BRENTF ir DJCI grafikuose, atitinkamai 6-ame ir 10-ame vėlavimuose, indikuojamas aukštesnis koreliacijos lygis nei kituose taškuose, tačiau šiame modelyje nėra koreliacijų kertančių pasikliautinius intervalus.

31 pav. (žr.) pateikiamos sudaryto VECM3 modelio autokorelogramos. Šiuo atveju WTI ir BRENTF grafikai yra labai tvarkingi – turimos koreliacijos yra mažos ir nereikšmingų dydžių. Šiek tiek kitokia situacija turima INDPRO rodiklio atveju. Nors ir nei viename iš taškų pasikliautinis intervalas nėra kertamas, tačiau 2-ame, 7-ame ir 12-ame vėlavimuose koreliacijos yra pakankamai stiprios, bet neturinčios poveikio tolimesnių prognozių tikslumui.

32 pav. (žr.) atvaizduojamos sudaryto VECM4 modelio autokorelogramos. WTI grafikas pakankamai tvarkingas, tačiau 11 vėlavime egzistuoja koreliacija, kuri yra ant pasikliautinio intervalo ribos. BRENTF nerodo jokių koreliacijų pradiniais vėlavimais, tačiau atsiranda kiek stipresnės koreliacijos vėlesniais laikotarpiais. DJCI grafikas taipogi neindikuoja stiprių koreliacijų, nors ir 5-ame bei 8-ame vėlavime rodomos kiek stipresnės koreliacijos nei kituose laikotarpiuose. BRENTF grafikas taipogi neindikuoja jokių kritinių koreliacijų apart 10-o vėlavimo, kuriame koreliacija yra aukštesnė, tačiau nekertanti pasikliautinio intervalo ribų.

33 pav. (žr.) pateikiama sudaryto VECM5 modelio autokorelograma. WTI grafikas tvarkingas. Pradiniuose vėlavimuose autokoreliacija labai silpna. Ji sustiprėja 7-ame ir 11-ame vėlavimuose, tačiau išmatuotos reikšmės yra toli nuo intervalų ribų. BRENTF grafikas pasižymi kiek stipresne autokoreliacija 2-ame ir 11-ame bei 12-ame vėlavimuose, tačiau vėlgi, šios reikšmės yra toli nuo intervalo ribų. INDPRO grafikas skiriasi nuo prieš tai aptartų tuo, kad daugiau autokoreliacijos fiksuojama pradiniuose perioduose, tačiau tolimesniuose laikotarpiuose, apart 12-to periodo, koreliacija beveik nėra fiksuojama visai. Galima teigti, kad VECM5 modelio

autokorelograma yra tvarkinga, ir nei vienas iš grafikų neindikuoja apie kritinę arba perteklinę autokoreliaciją.

Apibendrinant VECM modelių autokorelogramas, galima teigti, jog visų sudarytų modelių liekanos yra tvarkingos, t.y. modelių liekanose nėra jokių kritinių koreliacijų, kurios galėtų turėti neigiamą poveikį toliau atliekamų prognozių patikimumui bei tikslumui.

2.4.7. VECM modelių konversija į VAR

VECM modeliai labai naudingi tais atvejais, kuomet siekiama nustatyti kointegraciją ir ilgalaikius ryšius tarp kintamųjų, tačiau prognozių modeliavime pirmenybė teikiama VAR modeliams, kadangi jie leidžia tiesiogiai prognozuoti visus sistemos kintamuosius, neatsižvelgiant į tai, ar jie kointegruoti, ar ne. Tai yra naudingos savybės, ypač tuo atveju, kai pagrindinis dėmesys skiriamas trumpalaikiam ir vidutinės trukmės prognozavimui, o ne ilgalaikiams pusiausvyros ryšiams. Todėl, siekiant atlikti WTI naftos kainos prognozes, pasitelkiant anksčiau sudarytus VECM modelius, pirmiausia jie konvertuojami į VAR tipo modelius funkcijos „*vec2var()*“ iš „R Studio“ programos paketo „*vars*“ pagalba. Techniškai, ši transformacija apima keletą etapų – pirmiausia iš VECM išskiriamos kintamųjų koeficientų matricos jų diferencijuotoms vertėms. Toliau atliekamas šių koeficientų matricų transformavimas į lygiavertį VAR atvaizdavimą ir galiausiai, gautam VAR objektui priskiriami pavadinimai bei kiti atributai. Apibendrinant, „*vec2var()*“ yra naudinga funkcija, leidžianti sklandžiai pereiti nuo vieno tipo daugiamatės laiko eilutės modelių prie kito ir padidinti laiko eilučių modeliavimo lankstumą R programoje (Mohr, 2019).

2.4.8. Į VAR konvertuotų VECM modelių liekanų analizė

Kaip ir prieš tai sudarytų VAR modelių atveju, norint įvertinti modelio tinkamumą ir efektyvumą analizuojant laiko eilutes, reikia atlikti į VAR konvertuotų VECM modelių liekanų analizę. Pirmiausia, „R Studio“ funkcijos „*serial.test()*“ iš paketo „*vars*“ pagalba nustatoma, ar sudarytų VAR modelių liekanos yra autokoreliuotos, ar ne. Testas susidaro iš dviejų hipotezių – H_0 (autokoreliacijos liekanose nėra ($p\text{-value} > 0,05$)) ir H_1 (autokoreliacijos liekanose yra ($p\text{-value} < 0,05$)). 18 lentelėje pateikiami į VAR konvertuotų VECM modelių liekanų autokoreliacijos rezultatai:

18 Lentelė: Į VAR konvertuotų VECM modelių liekanų autokoreliacijos testo rezultatai

VECM Modelis:	P-value pas. Int.	P-value reikšmė:	Išvada:
VECM1	0,05 (5%)	0,02569	H ₀ hipotezė atmetama
VECM2	0,05 (5%)	0,06629	H ₀ hipotezė neatmetama
VECM3	0,05 (5%)	0,0224	H ₀ hipotezė atmetama
VECM4	0,05 (5%)	0,7914	H ₀ hipotezė neatmetama
VECM5	0,05 (5%)	0,3455	H ₀ hipotezė neatmetama

Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

Pagal pateiktus rezultatus matoma, **H₀** hipotezė neatmetama VECM2, VECM4 ir VECM5 modelių atvejais. Priešinga situacija yra su VECM1 ir VECM3 modeliais, kuriuose **H₀** hipotezė yra atmetama, o tai reiškia, kad šiuose modeliuose liekanos yra autokoreliuotos. Ši problema jau buvo aptarta sudarinėjant VAR modelius - teoriškai, modelio paklaidos savyje turi talpinti grynai atsitiktinį poveikį turinčius veiksnius („baltąjį triukšmą“), tačiau praktiškai dažniausiu atveju taip nėra.

Toliau „R Studio“ funkcijos „*arch.test*“ iš „vars“ paketo pagalba aiškinamasi, ar į VAR konvertuotų VECM modelių liekanos yra homoskedastiškos, ar heteroskedastiškos. Norint, kad sudarytas modelis būtų tikslesnis, liekanos turi būti homoskedastiškos. 19 lentelėje pateikimai šio testo rezultatai:

19 Lentelė: Į VAR konvertuotų VECM modelių liekanų homoskedastiškumo testo rezultatai

VECM Modelis:	P-value pas. Int.	P-value reikšmė:	Išvada:
VECM1	0,05	0,3728	H ₀ hipotezė neatmetama
VECM2	0,05	0,4149	H ₀ hipotezė neatmetama
VECM3	0,05	0,09723	H ₀ hipotezė neatmetama
VECM4	0,05	0,7323	H ₀ hipotezė neatmetama
VECM5	0,05	0,136	H ₀ hipotezė neatmetama

Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

Homoskedastiškumo testas susideda iš 2-jų hipotezių – **H₀** (modelio liekanos homoskedastiškos ($p\text{-value} > 0,05$)) ir **H₁** (modelio liekanos heteroskedastiškos ($p\text{-value} < 0,05$)). Pagal gautus rezultatus galima daryti išvadą, jog visiems sudarytiems modeliams **H₀** hipotezė nėra atmetama, o tai reiškia, kad visų į VAR konvertuotų VECM modelių liekanos yra homoskedastiškos.

Paskutinės liekanų analizės metu tiriama, ar į VAR konvertuotų VECM modelių liekanos yra pasiskirsčiusios pagal daugiamačią normalųjį skirstinį. Analizei atlikti naudojama „R Studio“ funkciją „*normality.test*()“ iš „vars“ paketo. Testo hipotezės - **H₀** (Liekanos pasiskirsčiusios pagal daugiamačią normalųjį skirstinį ($p\text{-value} > 0,05$)) ir **H₁** (Liekanos pasiskirsčiusios ne pagal

daugiamatį normalųjį skirstinį ($p\text{-value} < 0,05$). 20 lentelėje pateikiami liekanų normalumo testo rezultatai:

20 Lentelė: Į VAR konvertuotų VECM modelių liekanų normalumo testo rezultatai

VECM Modelis:	P-value pas, Int,	JB-Test P-v	Skewness P-value:	Kurtosis P-value:	Išvada:
VECM1	0,05	0,833	0,7503	0,6611	H0 hipotezė neatmetama
VECM2	0,05	0,9361	0,7523	0,8942	H0 hipotezė neatmetama
VECM3	0,05	0,117	0,04429	0,5515	H0 hipotezė neatmetama
VECM4	0,05	0,1268	0,4091	0,07157	H0 hipotezė neatmetama
VECM5	0,05	9,96E-02	0,04121	0,0002034	H0 hipotezė atmetama

Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

Atsižvelgiant į testo rezultatus, ne visuose iš VECM į VAR konvertuotuose modeliuose liekanos yra pasiskirsčiusios pagal normalųjį skirstinį. VECM1, VECM2, VECM3 ir VECM4 modelių atvejais, H_0 hipotezės nėra atmetamos, tačiau H_0 hipotezė yra atmesta VECM5 modelio atveju, kas savo ruožtu indikuoja, kad šio modelio liekanos nėra visiškai pasiskirsčiusios pagal daugiamatį normalųjį skirstinį. Analogiški rezultatai buvo gauti ir sudarinėjant VAR modelius – VAR5 taipogi netenkino H_0 hipotezės.

2.4.9. Į VAR konvertuotų VECM modelių impulso-atsako analizė

Impulso-atsako analizės metu nagrinėjami grafikai, kurie atvaizduoja, kaip tiriamasis WTI kintamasis reaguoja į kitų, modelių sudarančių kintamųjų, šokus. Atliktos analizės grafikai pateikiami 5 priede (žr. 34 pav., 35 pav., 36 pav., 37 pav., 38 pav.).

34 pav. pateikiami WTI kintamojo impulso-atsako grafikai į VAR konvertuotame VECM1 modelyje. Šiuo atveju, aštriausiai WTI reaguoja į BRENTF kintamojo impulsą – poveikis pasireiškia iš karto po šoko, ir per kelis ateinančius periodus pasiekia piką. Tuomet gerokai susilpnėja ir po kelių periodų vėl pradeda augti. FEDINT šoko atveju, reakcija yra kiek kitokia – iš pradžių šoko poveikis didėja beveik tiesiškai. Vėliau šoko poveikis beveik nebeauga, tačiau išsilaiko pakankamai aukštas. Analizuojamas kintamasis WTI reaguoja ir savo paties impulsą – iš pradžių šokas turi trumpalaikį teigiamą poveikį, tačiau jis greitai perauga į slopinančią tendenciją.

35 pav. atvaizduojama, kaip WTI kintamasis reaguoja į kitų kintamųjų šokus į VAR konvertuotame VECM2 modelyje. Į BRENTF kintamojo šoką WTI reaguoja gana panašiai kaip ir VECM1 atveju – per pirmus 3 periodus pasiekiamas poveikio pikas, o vėlesniais laikotarpiais vyksta slopinimas. DJCI šoko metu, WTI kintamasis reaguoja panašiai kaip ir FEDINT šoko metu. Pirmais pora periodų poveikis yra neigiamas (reiškiasi WTI kaina mažėja), tačiau vėlesniais

laikotarpiais poveikis pradeda augti, tampa teigiamas ir auga beveik tiesiškai. VECM2 modelyje, WTI įdomiausiai reaguoja į savo paties šoką – dar pradiniam šoko periode kaina išauga, tačiau labai staigiai teigiamas poveikis krenta ir pereina į neigiamo poveikio tendenciją. Reiškiasi, WTI gavus šoką iš savęs pačio, kaina staigiai paauga ir tada pakankamai staigiai (beveik laisvuju kritimu) pradeda mažėti.

36 pav. atvaizduojama, atvaizduojama tiriamo WTI kintamojo reakcija į VAR konvertuotame VECM3 modelyje. WTI atsakas į savo paties impulsą – svyruojantis. Labai įdomu, kad visumoje į savo paties impulsą WTI reaguoja teigiamai, ypač stebimo laikotarpio pradžioje, tačiau vėlesniame laikotarpyje impulso poveikis gana staigiai pereina į neigiamą poveikį, o po to – beveik tame pačiame periode – staigiai šoka atgal į teigiamo poveikio fazę. WTI atsakas į savo paties impulsą nėra tiesiškai ir linijinis, tuo pačiu jis gan chaotiškas ir neturi aiškiai išreikštos tendencijos, kuri leistų spėti apie ilgalaikį impulso (šoko) poveikį. Tuo tarpu, WTI atsakas į BRENTF kintamojo impulsą yra visai priešingas. Pirmus 2-3 periodus WTI atsakas yra teigiamas ir ypač stiprus. Vėlesniais laikotarpiais jis šiek tiek svyruoja, tačiau visu matomu laikotarpiu išsilaiko ypač aukštame lygyje ir turi teigiamą augimo tendenciją. Tai reiškia, kad šiame modelyje BRENTF kintamasis turi didžiulį poveikį WTI kintamojo formavimuisi. Jei BRENTF linkęs kintamąjį WTI veikti teigiamai, tai WTI reakcija į INDPRO visiškai priešinga – INDPRO impulsas į sistemą turi neigiamą ir su laiku stiprėjantį poveikį WTI kintamojo formavimuisi.

37 pav. atvaizduojama, kaip WTI kintamasis reaguoja į kitų kintamųjų šokus į VAR konvertuotame VECM4 modelyje. Šiuo atveju egzistuoja pakankamai apčiuopiama WTI reakcija į savo paties šoką, kuri įvyksta dar šoko metu. Po pradinės reakcijos, įvyksta teigiamo šoko poveikio sumažėjimas, kuris vėliau vėl išauga, viršija pradinį piką ir pakankamai stabiliai laikosi visu laikotarpiu. Kiek priešinga WTI reakcija yra į BRENTGP kintamojo šoką. Iš pradžių, pirmaisiais laikotarpiais, WTI kintamasis reaguoja nestipriai, tačiau neigiamai. Vėlesniais laikotarpiais šoko poveikis iš neigiamos tendencijos pereina į teigiamą, bei viršija neigiamo poveikio piką. Pasiekus piką, kuris lyginant su kitų rodiklių šokais nėra didelis, poveikis pradeda silpti ir artėti link 0. DJCI šokas visu nurodytu laikotarpiu turi teigiamą poveikį tiriamajam WTI. Poveikis nuo šoko pradžios stabiliai auga, pasiekia pirmąjį piką, tuomet šiek tiek krenta ir vėlesniais laikotarpiais vėl pradeda augti. Kaip ir prieš tai nagrinėtų modelių atveju, labiausiai WTI reaguoja į BRENTF kintamojo šoką - atsakas visuomet staigus ir labai stiprus. Pasiekus piką, šoko poveikis kiek susilpnėja, tačiau laikosi pakankamai aukštame lygyje. Dar vėliau, 10-ame periode po šoko, jis pradeda rodyti silpnėjimo tendenciją.

38 pav. matomuose grafikuose kaip WTI kintamasis reaguoja į kitų kintamųjų šokus į VAR konvertuotame VECM5 modelyje. WTI reakcija į save patį visu, grafike matomu laikotarpiu, yra

teigiama. Iš pradžių seka stipri pradinė reakcija, kuri poros periodų bėgyje beveik išnyksta, tačiau vėlesniais laikotarpiais reakcija atsigauna, smarkiai išauga bei laikosi pakankamai aukštame lygyje. Pagal gautą grafiką galima teigti, kad WTI atsakas į savo impulsą yra labiau jaučiamas ilguoju, o ne trumpuoju laikotarpiu. WTI atsakas į BRENTF impulsą šioje sistemoje turi labai aiškią išraišką – staigus ir labai stiprus atsakas pirmus kelis periodus, o vėliau poveikis išlieka pakankamai stabiliose režiuose ilgą laikotarpį. Galima teigti, kad šioje sistemoje, kaip ir daugumoje kitų sudarytų sistemų, WTI turi stipriausią reakciją į BRENTF kintamojo impulsus. WTI atsakas į INDPRO impulsą – gana dvejopas. Pirmus 2-3 periodus po impulso WTI atsakas neigiamas, vėlesniais laikotarpiais atsakas perauga į teigiamą, tuomet pereina į vėl neigiamą fazę. Priešingai nei WTI atsako į savo paties ar BRENTF impulsus, atsakas į INDPRO – pakankamai chaotiškas ir neturi ypač aiškiai išreikštos tendencijos ilguoju laikotarpiu.

Apibendrinant į VAR transformuotų VECM modelių impulso-atsako analizės rezultatus, galima sudaryti pora išvadų. Pirmiausia, didžiausią, stipriausią ir staigiausią poveikį WTI turi BRENTF kintamojo šokas, kurio poveikis turi du atvejus. Pirmuoju (VECM1 ir VECM2 modeliuose), pikas pasiekiamas labai greitai ir tuomet poveikis pakankamai greitais silpsta. Vėlesniais laikotarpiais jis laikosi tam tikrame, apčiuopiamame lygyje, ir VECM1 atveju vėl pradeda rodyti augimo tendenciją. VECM3, VECM4, VECM5 atvejais, šoko poveikis lygiai taip pat greitai pasiekia piką, tačiau jis pakankamai stabiliai laikosi aukštame lygyje ir vėlesniais laikotarpiais. Įdomios WTI reakcijos ir į savo paties šoką. Kiekviename modelyje jis yra labai skirtingas ir negali būti apibrėžtas į tam tikras tendencijas, kaip tą buvo galima padaryti BRENTF atveju, tačiau jis gali būti tiek neigiamo, tiek teigiamo poveikio. WTI pakankamai panašiai reaguoja į DJCI ir FEDINT kintamųjų šokus. Poveikis visai atvejais yra teigiamas ir laikui bėgant stabiliai augantis. Bendrai paėmus, bet kuriuo atveju, WTI stipriausiai reaguoja į kintamojo BRENTF šokus, todėl galima daryti išvadą, jog WTI kintamojo formavimuisi stipriausią poveikį turi BRENTF kintamasis.

2.4.10. WTI kainos prognozavimas pasitelkiant VECM modelius

Kiekvieno sudaryto VECM modelio tikslas yra lygiai toks pats kaip ir anksčiau sudarytų VAR modelių – prognozuoti WTI naftos kainą metams į priekį ir gauti prognozes, kurių reikšmės būtų kuo arčiau faktinių. 21-oje lentelėje pateikiama anksčiau sudarytų VECM modelių suvestinė:

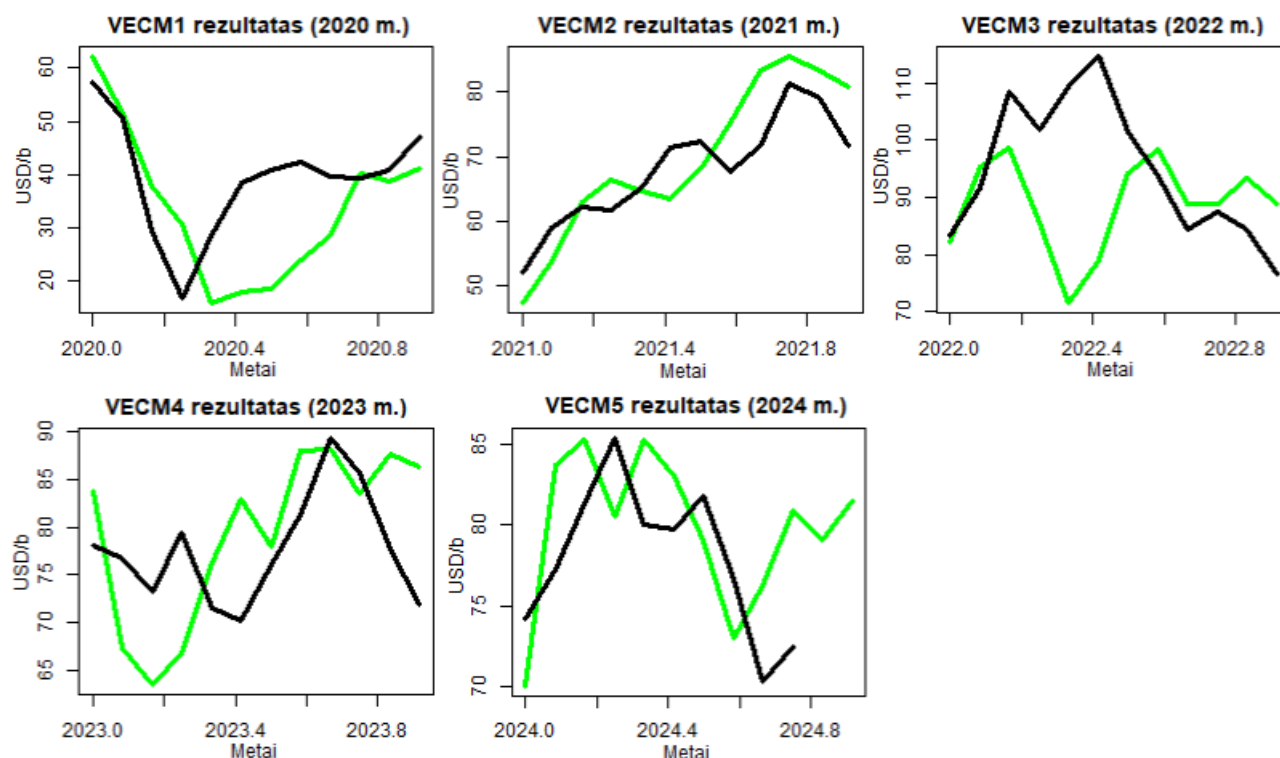
21 Lentelė: Sudarytų VECM modelių suvestinė

VECM Modelis:	Prognozuojami metai:	Duomenų bazė:	Modeliui sudaryti panaudoti kintamieji:	VECM modelio eilė (k=):
VECM1	2020 m.	2015-2019 m.	WTI, FEDINT, BRENTF	11
VECM2	2021 m.	2016-2020 m.	WTI, BRENTF, DJCI	9
VECM3	2022 m.	2017-2021 m.	WTI, BRENTF, INDPRO	11
VECM4	2023 m.	2018-2022 m.	WTI, BRENTF, DJCI, BRENTGP	7
VECM5	2024 m.	2019-2023 m.	WTI, BRENTF, INDPRO	10

Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

Visiems sudarytiems modeliams suteikiama 5 m. ilgio duomenų bazė siekiant nepernešti per daug nereikalingo triukšmo į prognozuojamą laikotarpį. Taipogi, VECM1-VECM3 bei VECM5 modelių duomenis sudaro 3 kintamieji, o VECM4 – 4. Lyginant su anksčiau nagrinėtais VAR modeliais, VECM modeliai susidaro iš mažiau kintamųjų, todėl yra mažiau kompleksiški. Taipogi, VECM modeliams reikalingų VAR modelių eilės yra aukštesnės nei nagrinėtų VAR modelių. VECM modelių atveju jos svyruoja nuo 7 (VECM4) iki 11 (VECM1 ir VECM3). Taipogi, kaip ir VAR modelių atveju, visuose sudarytuose VECM modeliuose egzistuoja BRENTF kintamasis. Prognozės atliekamos su į VAR konvertuotais VECM modeliais pasitelkiant funkciją „predict()“ iš „R Studio“ programos paketo „vars“. 39 pav. pateikiami prognozių rezultatai grafine forma:

39 pav. Sudarytų VECM modelių prognozių rezultatai WTI kintamajam



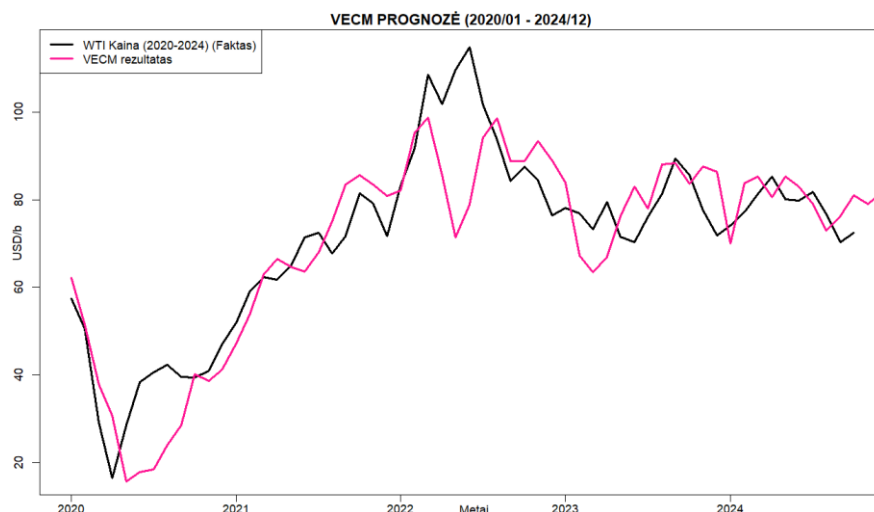
Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

Grafikuose esančios juodos linijos indikuoja faktinę WTI naftos kainą prognozuojamais metais, o žalia – sudarytų VECM modelių gautas prognozės. Pagal pateiktus grafinius rezultatus, kiekvienam modelio atvejui padaryti tam tikras išvadas:

- VECM1 modelis geba pakankamai tiksliai prognozuoti metų pradžią, puikiai pagauna žemiausią metų tašką bei yra arti faktinių reikšmių metų pabaigoje. Pagrindinė bėda šiuo atveju – puikiai pagavus žemiausią metinės WTI kainos tašką, VECM1 prognozuoja lėtesnį kainos atsigavimą nei jis vyko iš tikrųjų. Apibendrinant, galima teigti, kad VECM1 modelio prognozė yra pakankamai tiksli ir geba puikiai užfiksuoti 2020 m. WTI kainos kitimo tendencijas;
- VECM2, priešingai nei VECM1 modelis, negeba užfiksuoti faktinių kainų 2021 metais. Pirmoji prognozės pusė kainas kiek nuvertina, o antroji – pervertina, tačiau VECM2 geba labai gerai užfiksuoti, kaip 2021 m. kito naftos kainos tendencijos;
- VECM3 labai gerai prognozuoja 2022 metų pradžią ir kainos kitimo tendenciją antroje metų pusėje. Problema kyla antrame ketvirtyje, kadangi nėra užfiksuojama nei faktinė naftos kaina, nei jos kitimo dinamika. Su labai panašia problema buvo susidurta atlikus 2022 m. prognozę pasitelkiant VAR3 modelį, tačiau pastarasis sugebėjo užfiksuoti bent pirmąjį kainos piką. Galimai tai yra Ukrainos-Rusijos karo bei dėl to kilusios energetinės krizės pasekmė, kuri lėmė, kad kainos kilo gerokai daugiau nei aplanai galima buvo tikėtis;
- VECM4 modelis 2023 m. pirmoje pusėje kainas gerokai nuvertina, tačiau geba pakankamai tiksliai užfiksuoti metinės kainos piką. Kainos kitimo tendencija nėra užfiksuota puikiai, tačiau patenkinamai.
- Kaip ir anksčiau aptarti modeliai, VECM5 negeba tiksliai prognozuoti faktinių 2024 m. mėnesinių WTI kainų, tačiau geba labai neblogai užfiksuoti naftos kainos kitimo dinamiką metų eigoje. Pagrindiniai prognozės trūkumai geriausiai atsispindi prognozuojamų metų pradžioje bei pabaigoje – pačioje pradžioje kaina stipriai nuvertinama, o paskutiniaisiais mėnesiais – stipriai pervertina. Neatsižvelgiant į šiuos aspektus, kitimo dinamika labai neblogai, o ir prognozės reikšmės nėra toli nuo faktinių reikšmių. Didžiausias šio modelio rezultatų minusas – nuvertinta arba stipriai pervertinta kaina metu pradžioje ir pabaigoje.

40 pav. pateikiamas grafikas, kuriame nurodomas 2020-2024 m. WTI kainos grafikas, ir sujungtas, sudarytų VECM1, VECM 2, VECM3, VECM4 bei VECM5 modelių prognozių rezultatas:

40 pav. WTI kainos eilutė 2020-2024 m. ir sudarytų VECM modelių prognozių rezultatas



Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

Pagal 40 pav. pateiktą grafiką, galima teigti, kad sudaryti VECM modeliai gana tiksliai užfiksuoja tiriamo periodų WTI kainos kitimo dinamikas ir tendencijas. Vietomis prognozėse egzistuoja nemažų nuokrypių nuo faktinių kainų (ypač 2022 m.), tačiau visumoje VECM modelių pagalba gautus rezultatus galima vertinti teigiamai.

2.4.11. Sudarytų VECM modelių prognozių tikslumo įvertinimas

Toliau atliekamas VECM modeliais gautų prognozių tikslumo įvertinimas, naudojant vidutinę absoliutinę (MAE), vidutinę kvadratinę (MSE), vidutinę kvadratinės šaknies (RMSE) ir vidutinę absoliutinę procentinę (MAPE) paklaidas (žr. 34, 35, 36, 37 formules). 22 lentelėje pateikiamos sudarytų VECM modelių prognozių paklaidos:

22 Lentelė: Sudarytų VECM modelių paklaidų reikšmės

Paklaida:	VECM1	VECM2	VECM3	VECM4	VECM5		MIN:	MAX:
MAE	10,2	5,4	12,02	7,6	4,88		VECM5	VECM3
MSE	156,3	38,69	287,88	77,25	26,51		VECM5	VECM3
RMSE	12,5	6,22	16,96	8,78	5,14		VECM5	VECM3
MAPE	31%	8%	12%	10%	6%		VECM5	VECM1

Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

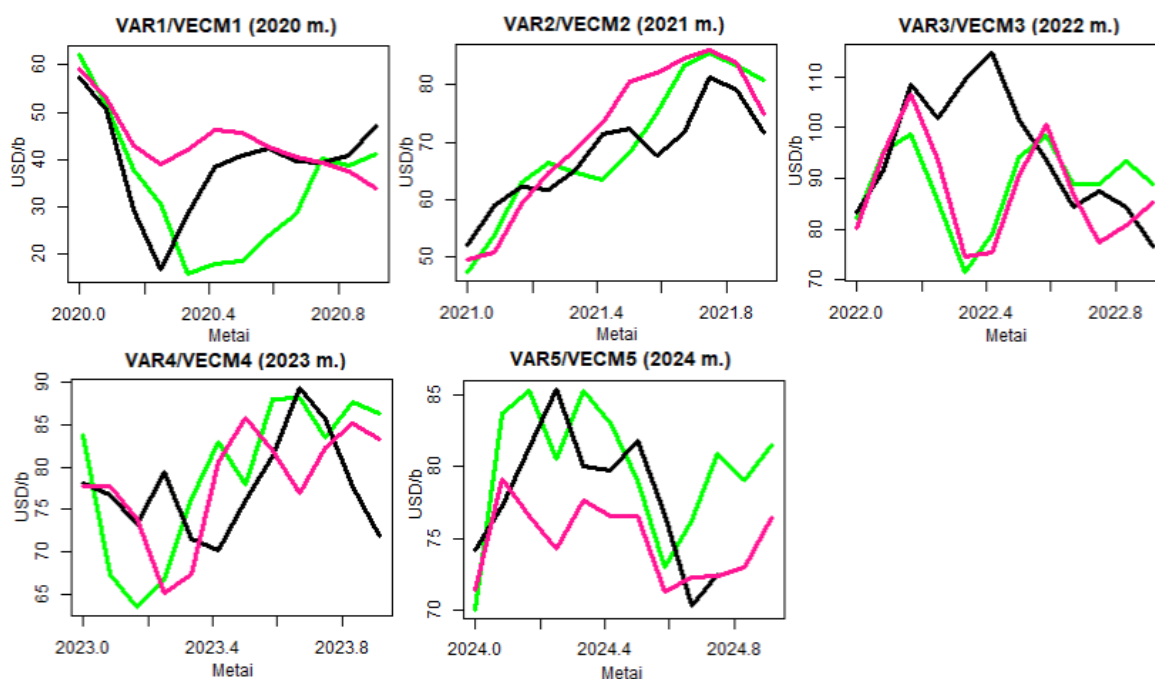
Mažiausias absoliutines paklaidas (MAE) turi VECM2 ir VECM5 modeliai, didžiausią – VECM3. Vidutinės kvadratinės paklaidos (MSE) ir vidutinė kvadratinės šaknies paklaidos (RMSE) atvejais turimi analogiški rezultatai. Vidutinės absoliučios procentinės paklaidos (MAPE) atveju, mažiausią nuokrypį turi VECM5, didžiausią – VECM1 modelis. Apibendrinant, galima

teigti, jog tiksliausiai prognozę sudaro VECM5 modelis, kurio paklaidos yra mažiausios, tačiau sudaryti modeliai nėra tobuli ir jų gautose prognozėse egzistuoja paklaidos.

2.5. Sudarytų VAR ir VECM modelių rezultatų palyginimas

Darbo metu, WTI naftos kainai prognozuoti, buvo sudaryti 2 tipų modeliai – VAR ir VECM. Siekiant nustatyti, kurio tipo modeliai turi tikslesnes ir aukštesnes prognozavimo galimybes, toliau bus atliekamas šių modelių prognozių palyginimas. 41 paveiksle pateikiami sudarytų VAR ir VECM modelių grafikai, kuriuose atvaizduota faktinė WTI kaina (juoda linija) bei sudarytų VAR (rožinė linija) ir VECM (žalia linija) modelių prognozių rezultatai:

41 pav. Sudarytų VAR ir VECM modelių prognozių grafinis palyginimas



Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

Atsižvelgiant į pateiktus grafikus, kiekvieno prognozuojamo periodo atveju galima sudaryti tam tikras išvadas:

- 2020 m. buvo prognozuojami pasitelkiant VAR1 ir VECM1 modelius. Gaunamos prognozės yra gana panašios pačioje metų pradžioje, tačiau labai išsiskiria metų eigoje. Pirmiausia, VECM1, nors ir kiek vėliau nei faktas įvyko, pagauna žemiausią metinės kainos tašką. VAR1 gana neblogai indikuoja žemiausio metinės kainos taško poziciją laiko atžvilgiu, tačiau neužfiksuoja tokio stipraus kritimo, ką padaro VECM1. Sekantis svarbus aspektas – metų pabaiga. VECM1 2020 m. gale indikuoja apie kainos augimą, tuo tarpu VAR1 prognozuoja

tolimesnį kainos kritimą. 2020 m. atveju, bendrą, metinę kainų kitimo dinamika geriau fiksuojama VECM1 modelio. Žvelgiant grafiškai, vienintelis VECM1 trūkumas yra tai, kad prognozuojamas kainos augimas po užfiksuoto žemiausio taško yra lėtesnis, nei tai vyko faktiškai;

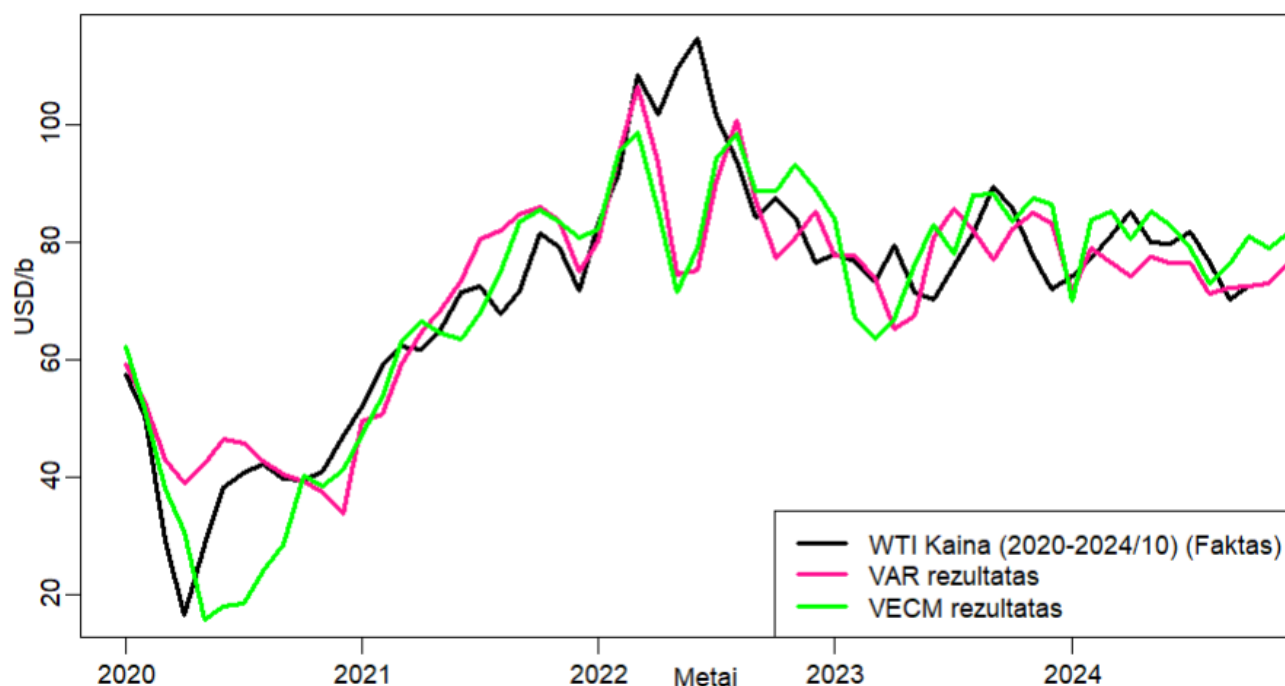
- 2021 m. buvo prognozuojami pasitelkiant VAR2 ir VECM2 modelius. Šiuo atveju, abiejų modelių gauti rezultatai yra gana panašūs. Abu modeliai beveik identišškai prognozuoja metų pradžią, tačiau vėliau prognozės kiek išsiskiria. VAR2 modelis, prognozuoja aukštesnes kainas nei faktinės, o VECM2 – pakankamai panašias, tačiau nesugeba tiksliai prognozuoti metų eigoje vykstančių svyravimų. Taipogi, abu modeliai prognozuoja kiek aukštesnį metinį piką nei faktinė reikšmė. Sekantis niuansas – abu modeliai geba gerai užfiksuoti kainos tendenciją pačioje metų pabaigoje, tačiau VAR2 modelis tą daro tiksliau. Apibendrinant, galima teigti, kad VECM2 modelis geriau fiksuoja WTI kainos metinę kitimo dinamiką, nors ir tiksliai nepataiko į svyravimus, tačiau VAR2 modelis geba tiksliau prognozuoti 2021 m. pabaigą;
- 2022 m. prognozuoti skirti VAR3 ir VECM3 modeliai WTI kainos kitimo dinamiką prognozuoja beveik identišškai, tačiau tarp prognozių egzistuoja tam tikri skirtumai. Pirmiausia, VAR3 modelis beveik idealiai pagauną pirmąjį faktinį metinės kainos piką. VECM3 to nepadarė, tačiau geba pakankamai tiksliai prognozuoti pirmojo metinės kainos piko tašką laiko atžvilgiu. Sekantis niuansas, nei vienas iš sudarytų modelių negebą užfiksuoti realaus metinio kainos pirkio, kuris sekė beveik iš karto po pirmo. Tiek VAR3, tiek VECM3 prognozuoja gana staigų kainos kritimą ir tai gali būti susiję su panaudotais duomenimis, į kuriuos įėjo 2020 m. žemiausias kainos taškas. 4-tas metų ketvirtis yra neblogai prognozuojamas abiejų modelių. Tik šiuo atveju VECM3 tą darau geriau, kadangi tiksliau seką metinės kainos kitimo dinamiką, nors ir prognozuojamos vertės yra aukštesnės nei faktinės. Kainos kitimo eiga nėra tiksliai prognozuojama nei vieno iš sudarytų modelių, tačiau jie tą daro patenkinamai;
- 2023 m. periodui prognozuoti, buvo sudaryti VAR4 ir VECM4 modeliai. Abiejų modelių prognozuojamos WTI kainos kitimo dinamikos yra panašios – nelabai atitinka faktines reikšmes, tačiau pinasi aplink jas. Pirmiausia, abu modeliai prognozuoja didesnius kainos kritimus po 2022 m. aukštumų, nei tai įvyko faktiškai, tačiau pačią metų pradžią geriau fiksuoja VAR4 modelis. Toliau abu modeliai prognozuoja kainos augimą, nors faktiškai tuo metu vyko kainos kritimas. Atsižvelgiant į tai, kad vėliau kaina iš tikrųjų augo, galima teigti, kad jie abu tiesiog prognozuoja augimą anksčiau, nei jis įvyko iš tikrųjų. Priešingai nei 2022 m. prognozių atveju, 2023 m. atveju metinį WTI kainos piką geriau užfiksuoja VECM4

modelis, kurį pagauna beveik idealiai tiek vertės, tiek laiko atžvilgiu. Abu modeliai metų gale indikuoja apie kainos mažėjimo tendencijas, tačiau faktiškai, kaina po metinio piko krito daug staigiau. Apibendrinant 2023 m. prognozes, galima teigti, jog VAR4 ir VECM4 modeliai negeba užfiksuoti faktinių WTI kainos reikšmių, tačiau geba pakankamai neblogai sekti kainos kitimo tendencijas.

- Prognozės 2024 m. atliekamos pasitelkiant sudarytus VAR5 ir VECM5 modelius. Faktinės WTI reikšmės nėra labai tiksliai užfiksuotos – jau grafiškai matosi, kad atstumai tarp faktinių ir prognozuojamų reikšmių nemaži, tačiau pakankamai pastovūs. VAR5 prognozė labiausiai nutolus nuo 2-ame metų ketvirtyje, o VECM5 – 3-ame. Nominalius metinius pikus geriausiai užfiksuoja VECM5, tačiau juos fiksuodamas šiek tiek klysta laiko momentų atžvilgiais – abejais atvejais jie fiksuojami anksčiau, nei pikai įvyko iš tikrųjų. Žemiausias laikotarpio reikšmės geriau fiksuoja VAR5 modelis, tačiau tuo pačiu jis prognozuoja gerokai žemesnes, nei faktines reikšmes visu tiriamuoju laikotarpiu. Lyginant WTI laiko eilutės dinamikos replikavimą, VECM5 ją atkartoja tiksliau nei VAR5. Apibendrinant VAR5 ir VECM5 modelius – jie neužfiksuoja tikslių faktinių reikšmių, tačiau labai neblogai seka pačios kainos dinamiką tiriamuoju laikotarpiu.

42 pav. pateikiamas grafikas, kuriame atvaizduota faktinė WTI kaina analizuojama 2020-2024/10 m. laikotarpiu (juoda linija) bei sujungtos, sudarytų VAR ir VECM (rožinė bei žalia linijos) modelių prognozės:

42 pav. VAR ir VECM modelių prognozių grafinis palyginimas



Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

Pagal pateiktą grafiką, galima teigti, jog sudaryti VAR ir VECM modeliai retai kada tiksliai prognozuoja faktines WTI naftos kainas, tačiau geba pakankamai neblogai prognozuoti kainos kitimo dinamiką. Žvelgiant į rezultatus grafiškai, galima išskirti pagrindinius taškus, kuriose sudarytos prognozės labiausiai nutolsta nuo faktinių reikšmių:

1. Žemiausias 2020 m. taškas. VAR1 modelis gerai prognozuoja žemiausios kainos tašką laiko atžvilgiu, tačiau faktinė kaina buvo daug mažesnė nei prognozuota. VECM1 gerai prognozavo 2020 m. žemiausio taško vertę, tačiau numatė lėtesnį kainos atsigavimą nei jis vyko iš tikrųjų;
2. 2021 m. aukščiausias kainos taškas. Tiek VAR3, tiek VECM3 gerai prognozavo pirmąjį 2021 m. piką, tačiau negebėjo užfiksuoti sekančio piko, kuris sekė beveik iškart po pirmojo;
3. Tiek VAR4, tiek VECM4 2023 m. pradžioje prognozuoja kainos kritimą, kurio faktiškai nebuvo.

Apibendrinant, galima teigti, jog sudaryti modeliai retai kada tiksliai prognozuoja faktines WTI kainos reikšmes, tačiau geba pakankamai tiksliai ir nuosekliai numatyti bei sekti chaotiškai kintančią naftos kainos dinamiką. Toliau seka sudarytų VAR ir VECM modelių paklaidų palyginimas, pasitelkiant jau anksčiau taikytas MAE, MSE, MAPE bei RMSE paklaidas. Sudarytų modelių paklaidos pateikiamos 23-oje lentelėje:

23 lentelė: Sudarytų VAR ir VECM modelių paklaidų palyginimas

Paklaida:	VAR1	VAR2	VAR3	VAR4	VAR5	VECM1	VECM2	VECM3	VECM4	VECM5
MAE	7,06	5,84	11,22	6,32	3,89	10,20	5,40	12,02	7,60	4,88
MSE	96,80	50,03	271,81	64,99	23,39	156,30	38,69	287,88	77,25	26,51
RMSE	9,83	7,07	16,48	8,06	4,83	12,50	6,22	16,96	8,78	5,14
MAPE	25,8%	8,5%	11,1%	8,1%	4,8%	30,8%	7,9%	11,8%	10,0%	6,3%

Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

- 2020 m. prognozių atveju, VAR1 modelis turi žemesnes paklaidas nei VECM1. Aukštesnes VECM1 paklaidas lemia tai, kad modelis prognozuoja lėtesnį WTI naftos kainos atsigavimą nei faktinis. Dėl to susidaro dideli atstumai tarp prognozės ir faktinių reikšmių, kurie ir lemia aukštesnes paklaidas;
- Lyginant VAR2 ir VECM2, nežymiai didesnes paklaidas turi VAR2. To priežastis – labiau nutolusios VAR2 prognozės reikšmės nuo faktinių WTI kainų, ypač antroje 2021 m. pusėje;

- Kaip ir prieš tai nagrinėtu atveju, skirtumai tarp paklaidų nėra dideli lyginant VAR3 bei VECM3. Šiuo atveju, tikslesnis yra VAR3 modelis. Nors abu modeliai seka 2022 m. WTI kainos kitimo dinamiką beveik identišškai, VAR3 daug tiksliau prognozuoja pirmąjį metinės kainos piką. Taipogi, nors ir VECM3 geriau atvaizduoja kainos kitimo dinamiką 2022 m. pabaigoje, VAR3 modelio prognozės reikšmės yra mažiau nutolusios nuo faktinių kainų reikšmių;
- Lyginant VAR4 ir VECM4, žemesnes paklaidas demonstruoja VAR4 modelis. Ši skirtumą lemia tikslesnė VAR4 prognozė, kurios reikšmės, ypač 2023 metų pradžioje, yra arti faktinių.
- VAR5 ir VECM5 prognozių paklaidų atvejais, žemesnės paklaidos gaunamos WTI kainą prognozuojant su VAR modeliu. Nominaliais dydžiais, šių modelių paklaidos tarpusavyje skiriasi mažiausiai iš visų nagrinėjamų, sudarytų VAR ir VECM modelių porų atitinkamiems laikotarpiams. Kas yra labai įdomu šiuo atveju, kad nagrinėjant šių modelių prognozes grafiškai, galima teigti, kad VECM5 modelis turi geresnes prognozavimo galimybes nei VAR5, kadangi dažnu atveju jo gaunamos reikšmės yra arčiau faktinių reikšmių, tačiau šiuo atveju viskas susiveda į tai, kad VAR modelis, nors ir prognozuoja žemesnes reikšmes nei faktines, geba tiksliau sekti kainos kitimo dinamiką 2024 metais, o tai leidžia gauti stabilius nuokrypius bei prognozės paklaidas, kurios finale žemesnės nei VECM5 atveju.

Lyginant vidutinius paklaidų dydžius, jie nežymiai mažesni sudarytų VAR modelių atveju. Iš visų sudarytų modelių, žemiausias paklaidas gauna VAR5 modelis. Nagrinėjant paklaidų rezultatus, galima pastebėti kitą svarbų niuansą – VAR5 ir VECM5 pagal kokybinius parametrus (liekanų homoskedastiškumo ir normalumo hipotezes) yra teoriškai prastesni nei kiti VAR ir VECM modeliai, kurie šias kokybines hipotezes tenkina. Šis aspektas sukelia šiokią tokį paradoksą, kad teoriškai kokybiški modeliai šiuo atveju gauna prastesnes prognozavimo galimybes, negu modeliai, kurie šių prielaidų netenkina. Tai matoma ir gautų paklaidų rezultatuose, kur atitinkamai VAR5 ir VECM5 turi žemiausias paklaidas, atitinkamose sudarytų VAR ir VECM modelių grupėse. Apibendrinant, galima teigti, kad VAR modeliai geba tiksliau prognozuoti faktines WTI naftos kainas, tačiau VECM modeliai geba tiksliau sekti naftos kainos kitimo dinamiką.

IŠVADOS

Nafta – visomis prasmėmis ypač svarbus gamtinis išteklius. Iš jos gaminamos įvairios medžiagos, prie kurių žmogus prisiliečia kasdien, tačiau pirmiausia – tai yra energetinis išteklius, kuris įgalina judėjimą, o judėjimas savo ruožtu – prekių judėjimą, mainus ir savo ruožtu ekonomiką. Deja, tačiau iš to tuo pačiu išplaukia ir problemos. Vienos šalys savo teritorijoje šios žaliavos turi, kitos ne, ir šalys, neturinčios šios žaliavos, tampa priklausomos nuo jos importo ekonominei veiklai vystyti. Tuo tarpu naftą eksportuojančių šalių biudžetai, dažnu atveju yra stipriai priklausomi nuo naftos eksporto apimčių ir rinkoje vyraujančių kainų. Iš to kyla dar vienas paradoksas arba klausimas – kas turi didesnę derybinę galią? Eksportuotojas ar importuotojas? Iš tikrųjų nei vienas – be pasaulinės naftos paklausos, tokių valstybių kaip Afganistanas ar Saudo Arabija biudžetai grius, o be naftos žaliavos sustotų arba labai stipriai sulėtėtų ir importuojančių valstybių ekonomika. Todėl neišvengiamai, nafta abejoms pusėms tampa strateginis išteklius, kuris užtikrina ne tik valstybės ekonominę veiklą, tačiau ir visuomenės gerovę. Strateginis išteklius gali reikšti tik vieną – jis tampa stipriai politizuotas, todėl jo kaina ir pasiūlos lygis dažniausiai tampa priklausomas nebe nuo tradicinio paklausos/pasiūlos santykio, kaip yra įprasta prekyboje, tačiau labiau nuo valstybių vykdomos užsienio politikos ir geopolitinės situacijos, ypač naftą išgaunančiuose regionuose. Šie regionai, savo ruožtu istoriškai yra ne tik linkę būti politiškai nestabilūs, tačiau dažnu atveju tampa dominuojančių Pasaulio valstybių įtakos formavimo žaidimo aikštelėmis. Pavyzdžiui – Lietuva nepasižymi nei sunkiąją pramone, nei gausybe gamtinių išteklių, todėl teritorijos fizinė vertė nėra ypač reikšminga. Tuo tarpu, Artimųjų Rytų regionas, kuris pasižymi milžiniškomis naftos atsargomis, istoriškai nuolat purtomas įvairių konfliktų, kurių metu kariaujančios pusės turi palaikymą iš kitų valstybių. Šiuo atveju viskas susiveda į ganą paprastą lygybę – kieno įtaka, to ir nafta.

Kadangi nafta labai svarbi ir stipriai politizuota žaliava, iš to išplaukia ir kita problema – patikimas kainos prognozavimas. Logistikos, ir ypač transporto bendrovėse, didžiąją dalį visų teikiamų paslaugų kaštų sudaro išlaidos kurui. Kintant kuro kainoms, kinta ir teikiamų paslaugų savikaina. Tai savo ruožtu turi poveikį ir kitų verslų pelningumui, todėl naftos produktų kainos yra aktualios visiems verslams, nepriklausomai nuo sektoriaus, ir ypač svarbus tuomet, kai kalba pasisuka apie biudžeto sudarymą ir kainodarą.

2-oje dalyje atlikto tyrimo tikslas buvo sudaryti VAR ir VECM tipo modelius ir atlikti metines prognozes 2020-2024 m. laikotarpiui. Apibendrinant, galima teigti, jog pasirenkant teisingus kintamuosius ir modelių eiles, galima gauti metines WTI naftos prognozes, kurios gal ir neatsako į klausimą, kokios bus tikslios vidutinės mėnesinės kainos, tačiau geba labai neblogai

užfiksuoti kainos kitimo dinamiką prognozuojamu laikotarpiu. Gaila, tačiau čia ir prasideda problemos. Pirmiausia – jei sudarytas modelis geba gerai fiksuoti kainos kitimo dinamiką 2020 m., tai dar nereiškia, kad jis bus tinkamas prognozuoti ir sekančius metus. To priežastis – skirtingais laikotarpiais susiformavusios kainos turėjo skirtingas priežastis, kurios turėjo skirtingą poveikio lygį. Pavyzdžiui, 2020 m. Pasaulis buvo stipriai paveiktas COVID-19 pandemijos, kurios poveikis bei efektai buvo jaučiami ir 2021 m. 2022 m. buvo pažymėti Rusijos-Ukrainos karo pradžia ir iš to kilusia energetikos krize, o 2023 m. pabaiga – Izraelio-Hamas karo pradžia. Lyginant su prieš tai paminėtais laikotarpiais, 2024 m. – rinkimų metai - kažko naujo iš savęs labai nepasiūlė, tačiau jie buvo labiau susiję su nežinomybe, kaip pakryps jau vykstantys konfliktai ir kaip kis šalių pozicijos atėjus į valdžią naujoms vyriausybėms. Apibendrinant, naftos kaina turi trumpalaikes tendencijas, tačiau ilgalaikės tendencijos neegzistuoja, kadangi ir pati kaina yra linkusi formotis įvairių šokų pagalba, kurie tarpusavyje gali būti labai skirtingi (tiek ekonominiai, tiek politiniai). Kadangi politika prasideda nuo žmogaus, o žmogus iš savęs yra linkęs būti neprognozuojamas, tikslesnės naftos kainos prognozės gali būti atliekamos tik trumpalaikiams periodams. Ilgalaikių laikotarpių atveju, prognozės turi būti nuolatos atnaujinamos ir peržiūrimos, priklausomai nuo geopolitinių, socialinių ir ekonominių pokyčių.

ŠALTINIAI

1. Admati, A., Hellwig, M., Portes, R. (2023). When will they ever learn? The US banking crisis of 2023. *CEPR*. Žiūrėta 2024-12-22. Prieiga internetu: <https://cepr.org/voxeu/columns/when-will-they-ever-learn-us-banking-crisis-2023>
2. Alterman, J., B. (2021). A New Revolution in the Middle East. *Center for Strategic & International Studies*. Žiūrėta 2023-11-06. Prieiga internetu: <https://www.csis.org/analysis/new-revolution-middle-east>
3. Affek, S. P. (2019). Stationarity in time series analysis. *Towards Data Science*. Žiūrėta 2024-04-03. Prieiga internetu: <https://towardsdatascience.com/stationarity-in-time-series-analysis-90c94f27322>
4. Ahmed, M., W. (2023). Understanding Mean Absolute Error (MAE) in Regression: A Practical Guide. *Medium*. Žiūrėta 2023-04-22. Prieiga internetu: <https://medium.com/@m.waqar.ahmed/understanding-mean-absolute-error-mae-in-regression-a-practical-guide-26e80ebb97df>
5. Banabiosa. (2022). *A tiny part of Logistics behind Bananas*. Žiūrėta 2023-11-04. Prieiga internetu: <https://www.banabiosa.com/a-tiny-part-of-logistics-behind-bananas/>
6. Berkmen, P., Ouliaris, S., Samiei, H. (2005). The Structure of the Oil Market and Causes of High Prices. *International Monetary Fund*. Žiūrėta 2023-11-07. Prieiga internetu: <https://www.imf.org/external/np/pp/eng/2005/092105o.htm>
7. Brower, D., Sheppard, D. (2022). The week that could unravel the global oil market. *Financial Times*. Žiūrėta 2024-04-19. Prieiga internetu: <https://www.ft.com/content/3c15dd27-9b7a-4905-aaa6-f6009b1aec50>
8. BP. (2021). *Statistical Review of World Energy – 2021*. Žiūrėta 2024-12-25. Prieiga internetu: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-middle-east-insights.pdf>
9. Canadian Energy Centre. (2023). *Canada's oil & gas industry injects billions used for essential services every year*. Žiūrėta 2023-11-04. Prieiga internetu: <https://madethecanadianway.ca/economics/>
10. Carlevaro, F., Romerio, F., Spierer, C., Gault, J. (1989). Modeling and Forecasting the World Demand for Oil. *IFAC Proceedings Volumes*. Žiūrėta 2023-11-04. Prieiga internetu: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667017529523>

11. Chen, Y., He, K., Tso, G. K. (2017). Forecasting Crude Oil Prices: a Deep Learning based Model. *Procedia Computer Science*. Žiūrėta 2023-11-05. Prieiga internetu: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050917326169>
12. Clarke, H., Granato, J. (2005). Autocorrelation. *Encyclopedia of Social Measurement*. Žiūrėta 2024-04-20. Prieiga internetu: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B0123693985001572>
13. Corporate Finance Institute (CFI). (2024). *Heteroskedasticity*. Žiūrėta 2024-04-20. Prieiga internetu: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/data-science/heteroskedasticity/>
14. CME Group. (2023). *Soybean Production, Use, and Transportation*. Žiūrėta 2023-11-04. Prieiga internetu: <https://www.cmegroup.com/education/courses/introduction-to-grains-and-oilseeds/soybean-production-use-and-transportation.html>
15. ConocoPhillips. (2023). *What is Oil Used For?* Žiūrėta 2023-11-04. Prieiga internetu: <https://alaska.conocophillips.com/what-we-do/oil-production/what-is-oil-used-for/>
16. The Economist. (2024). *Donald Trump v Kamala Harris: who's leading the polls?* Žiūrėta 2024-11-16. Prieiga internetu: <https://www.economist.com/interactive/us-2024-election/trump-harris-polls>
17. Daniel Payne. (2024). The Trump agenda: Here's what to expect from his second term. *Politico*. Žiūrėta 2024-11-16. Prieiga internetu: <https://www.politico.com/news/2024/11/06/donald-trump-second-term-policies-00187157>
18. Dalay, G. (2024). Turkey has emerged as a winner in Syria but must now use its influence to help build peace. *Chatham House*. Žiūrėta 2024-12-24. Prieiga internetu: <https://www.chathamhouse.org/2024/12/turkey-has-emerged-winner-syria-must-now-use-its-influence-help-build-peace>
19. Disavino, S. (2023). Oil falls to three-month low on inflation worries, U.S. bank shutdowns. *Reuters*. Žiūrėta 2024-12-22. Prieiga internetu: <https://www.reuters.com/business/energy/oil-prices-edge-lower-svb-collapse-spooks-financial-markets-2023-03-14/>
20. DFreight. (2022). *WHAT IS THE CHEAPEST SHIPPING METHOD?* Žiūrėta 2023-11-04. Prieiga internetu: <https://dfreight.org/blog/what-is-the-cheapest-shipping-method-in-2022/>
21. Dyvik, E. H. (2023). Impact of the coronavirus pandemic on the global economy - Statistics & Facts. *Statista*. Žiūrėta 2023-11-11. Prieiga internetu:

<https://www.statista.com/topics/6139/covid-19-impact-on-the-global-economy/#topicOverview>

22. Duignan, B. (2023). *Great Recession*. *Britannica*. Žiūrēta 2023-11-09. Prieiga internetu: <https://www.britannica.com/money/topic/great-recession>
23. Drummond, M. (2024). Israel-Hamas war: A timeline of events since the 7 October attacks - and how Iran and Hezbollah became involved. *Sky News*. Žiūrēta 2024-12-22. Prieiga internetu: <https://news.sky.com/story/israel-hamas-war-a-timeline-of-events-in-the-year-since-7-october-amid-fears-of-wider-middle-east-conflict-13132910>
24. Energy Information Administration (EIA). (2024). *U.S. Field Production of Crude Oil*. Žiūrēta 2023-02-09. Prieiga internetu: <https://www.eia.gov/dnav/pet/hist/LeafHandler.ashx?n=pet&s=mcrfps2&f=m>
25. Energy Information Administration (EIA). (2014). *Benchmarks play an important role in pricing crude oil*. Žiūrēta 2023-04-16. Prieiga internetu: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=18571>
26. International Criminal Court (ICC). (2024). Situation in the State of Palestine: ICC Pre-Trial Chamber I rejects the State of Israel's challenges to jurisdiction and issues warrants of arrest for Benjamin Netanyahu and Yoav Gallant. Žiūrēta 2024-12-24. Prieiga internetu: <https://www.icc-cpi.int/news/situation-state-palestine-icc-pre-trial-chamber-i-rejects-state-israels-challenges>
27. Field, A. (2022). What caused the Great Recession? Understanding the key factors that led to one of the worst economic downturns in US history. *Business Insider*. Žiūrēta 2023-11-09. Prieiga internetu: <https://www.businessinsider.com/personal-finance/what-caused-the-great-recession>
28. FRED. (2024). *Crude Oil Prices: West Texas Intermediate (WTI) - Cushing, Oklahoma*. Žiūrēta 2024-02-15. Prieiga internetu: <https://fred.stlouisfed.org/series/DCOILWTICO>
29. FRED. (2024). *S&P 500*. Žiūrēta 2024-02-16. Prieiga internetu: <https://fred.stlouisfed.org/series/SP500>
30. FRED. (2024). *Federal Funds Effective Rate*. Žiūrēta 2024-02-17. Prieiga internetu: <https://fred.stlouisfed.org/series/FEDFUNDS>
31. FRED. (2024). *Nominal Broad U.S. Dollar Index*. Žiūrēta 2024-02-19. Prieiga internetu: <https://fred.stlouisfed.org/series/TWEXBGSMTH>
32. FRED. (2024). *Vehicle Miles Traveled*. Žiūrēta 2024-02-28. Prieiga internetu: <https://fred.stlouisfed.org/series/TRFVOLUSM227SFWA>

33. Frost, J. (2024). Mean Squared Error (MSE). *Statistics By Jim*. Žiūrėta 2024-04-22. Prieiga internetu: <https://statisticsbyjim.com/regression/mean-squared-error-mse/>
34. GEP. (2022). RUSSIA-UKRAINE WAR'S EFFECTS ON THE OIL AND GAS INDUSTRY. Žiūrėta 2023-11-12. Prieiga internetu: <https://www.gep.com/blog/mind/russia-ukraine-wars-effects-oil-and-gas-industry>
35. Gupta, N. (2024). What is Cointegration? *WallStreetMojo*. Žiūrėta 2024-04-24. Prieiga internetu: <https://www.wallstreetmojo.com/cointegration/>
36. Grover N., Ghaddar A. (2023). What Israel-Hamas war means for global oil market. *Reuters*. Žiūrėta 2024-04-19. Prieiga internetu:
37. Hancock, A., Foy, H., Tani, S. (2024). Donald Trump tells EU to buy US oil and gas or face tariffs. *Financial Times*. Žiūrėta 2024-12-25. Prieiga internetu: <https://www.ft.com/content/9e485614-0080-4a09-8fcb-2df6c3d932a5>
38. Hill, I. (2023). Russia's invasion of Ukraine: Why and why now? *The Interpreter*. Žiūrėta 2023-11-12. Prieiga internetu: <https://www.lowyinstitute.org/the-interpreter/russia-s-invasion-ukraine-why-why-now>
39. Hill, S., Comstock, O. (2023). What is OPEC+ and how is it different from OPEC? *Energy Information Administration*. Žiūrėta 2023-11-06. Prieiga internetu: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=56420>
40. Holder, J., Boxerman, A. (2024). Maps: See Israel's Moves in Syria Since al-Assad Was Toppled. *The New York Times*. Žiūrėta 2023-11-04. Prieiga internetu: <https://www.nytimes.com/2024/12/19/world/middleeast/syria-israel-maps.html>
41. IEA. (2018). *The Future of Petrochemicals*. Žiūrėta 2023-11-04. Prieiga internetu: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-petrochemicals>
42. IEA. (2020). *Global oil demand to decline in 2020 as coronavirus weighs heavily on markets*. Žiūrėta 2023-11-11. Prieiga internetu: <https://www.iea.org/news/global-oil-demand-to-decline-in-2020-as-coronavirus-weighs-heavily-on-markets>
43. IEA. (2023). *World Energy Employment*. Žiūrėta 2023-11-04. Prieiga internetu: <https://www.iea.org/reports/world-energy-employment/overview>
44. Indeed. (2022). *What is Cointegration? (Definition, Methods and Examples)*. Žiūrėta 2024-04-24. Prieiga internetu: <https://www.indeed.com/career-advice/career-development/cointegration>
45. IMF. (2016). *Research Summaries: U.S. Shale Revolution and Its Spillover Effects on the Global Economy*. Žiūrėta 2023-11-11. Prieiga internetu: <https://www.elibrary.imf.org/view/journals/026/2016/004/article-A002-en.xml>

46. Investing. (2024). *Crude Oil WTI Futures Historical Data*. Žiūrėta 2024-02-11. Prieiga internetu: <https://www.investing.com/commodities/crude-oil-historical-data>
47. Investing. (2024). *Brent Oil Futures Historical Data*. Žiūrėta 2024-02-12. Prieiga internetu: <https://www.investing.com/commodities/brent-oil-historical-data>
48. Yaakoubi, A., Dahan, M. (2022). Saudi Aramco petroleum storage site hit by Houthi attack, fire erupts. *Reuters*. Žiūrėta 2024-04-19. Prieiga internetu: <https://www.reuters.com/world/middle-east/saudi-air-defences-destroy-houthi-drones-state-tv-2022-03-25/>
49. Jacoby, Mitch. (2022). The shipping industry looks for green fuels. *c&en*. Žiūrėta 2023-11-04. Prieiga internetu: <https://cen.acs.org/environment/greenhouse-gases/shipping-industry-looks-green-fuels/100/i8>
50. Joo, K., Suh, J. H., Lee, D., Ahn, K. (2020). Impact of the global financial crisis on the crude oil market. *Energy Strategy Reviews*. Žiūrėta 2023-11-11. Prieiga internetu: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X20300699>
51. J. P. Morgan. (2024). *The 4Q Economic and Market Update, presented by Dr. David Kelly, highlights the major themes and concerns impacting investors and their clients, using just 10 Guide slides*. Žiūrėta 2024-11-16. Prieiga internetu: <https://am.jpmorgan.com/us/en/asset-management/adv/insights/market-insights/guide-to-the-markets/economic-and-market-update/>
52. Kaymak Ö., Kaymak Y. (2022). Prediction of crude oil prices in COVID-19 outbreak using real data. *Chaos, Solitons & Fractals*. Žiūrėta 2023-11-12. Prieiga internetu: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960077922002004>
53. Kearney, L. (2022). Oil ends year of wild price swings with 2nd straight annual gain. *Reuters*. Žiūrėta 2023-11-12. Prieiga internetu: <https://www.reuters.com/business/energy/oil-set-close-higher-2022-turbulent-year-marked-by-tight-supplies-2022-12-30/>
54. Kemp, J. (2023). Oil market has fully absorbed impact of Russia's invasion of Ukraine. *Reuters*. Žiūrėta 2023-11-12. Prieiga internetu: <https://www.reuters.com/business/energy/oil-market-has-fully-absorbed-impact-russias-invasion-ukraine-kemp-2023-03-09/>
55. Kemp, J. (2023). U.S. bank failure places oil prices under pressure. *Reuters*. Žiūrėta 2024-04-19. Prieiga internetu: <https://www.reuters.com/markets/commodities/us-bank-failure-places-oil-prices-under-pressure-kemp-2023-03-13/>

56. Krauss, C. (2020). Oil Nations, Prodded by Trump, Reach Deal to Slash Production. *The New York Times*. Žiūrēta 2023-11-12. Prieiga internetu: <https://www.nytimes.com/2020/04/12/business/energy-environment/opec-russia-saudi-arabia-oil-coronavirus.html?action=click&module=RelatedLinks&pgtype=Article>
57. Krysztof, D. (2021). Forecasting crude oil real prices with averaging time-varying VAR models. *Resources Policy*. Žiūrēta 2024-10-20. Prieiga internetu: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301420721002555>
58. Lawler, A., Astakhova, O., Dahan, M., Ghaddar, A. (2023). OPEC+ agrees to deepen voluntary oil output cuts. *Reuters*. Žiūrēta 2024-04-20. Prieiga internetu: <https://www.reuters.com/markets/commodities/opec-ministers-meet-discuss-additional-oil-output-cuts-2023-11-30/>
59. Le, T.-H., Le, A., Le, H.-C. (2021). The historic oil price fluctuation during the Covid-19 pandemic: What are the causes? *Research in International Business and Finance*. Žiūrēta 2023-11-12. Prieiga internetu: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0275531921001100>
60. Maitra, S. (2019). Time-series Analysis with VAR & VECM: Statistical approach. *Towards Data Science*. Žiūrēta 2024-04-24. Prieiga internetu: <https://towardsdatascience.com/vector-autoregressions-vector-error-correction-multivariate-model-a69daf6ab618>
61. Maitra, S. (2020). Vector Autoregressive for Forecasting Time Series. *Towards Data Science*. Žiūrēta 2024-04-16. Prieiga internetu: <https://towardsdatascience.com/vector-autoregressive-for-forecasting-time-series-a60e6f168c70>
62. Mathworks. (2024). *Multivariate Normal Distribution*. Žiūrēta 2023-04-20. Prieiga internetu: <https://www.mathworks.com/help/stats/multivariate-normal-distribution.html>
63. Mason, J., Lewis, S. (2023). Biden says Putin committed war crimes, calls charges justified. *Reuters*. Žiūrēta 2024-12-24. Prieiga internetu:
64. Meredith, S. (2021). IEA sees a potential reprieve for soaring oil prices as U.S. ramps up production. *CNBC*. Žiūrēta 2023-04-19. Prieiga internetu: <https://www.cnbc.com/2021/11/16/oil-prices-ia-sees-a-potential-reprieve-as-us-production-rises.html>
65. Mohr, Franz. (2020). An Introduction to Impulse Response Analysis of VAR Models. *r-econometrics*. Žiūrēta 2023-04-22. Prieiga internetu: <https://www.r-econometrics.com/timeseries/irf/>

66. Mohr, Franz. (2019). An Introduction to Vector Error Correction Models (VECMs). *r-econometrics*. Žiūrėta 2023-04-28. Prieiga internetu: <https://www.r-econometrics.com/timeseries/vecintro/>
67. MSC. (2023). *Caring for your Avocados*. Žiūrėta 2023-11-04. Prieiga internetu: <https://www.msc.com/en/industries/fruits/avocados>
68. Noguera-Santaella, J. (2015). Geopolitics and the oil price. *Economic Modelling*. Žiūrėta 2023-11-06. Prieiga internetu: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264999315002308?casa_token=iE7wkiKPwV4AAAAA:6cVM_QSxk0rgI17gIjC2YC7RhF-KIPvnkDmd-IW8OijC5WCMfEV4SFbGA_xVr4ZueG9_oDlnUww#s0010
69. OPEC. (2022). *OPEC Share of World Crude Oil Reserves*. Žiūrėta 2023-11-06. Prieiga internetu: https://www.opec.org/opec_web/en/data_graphs/330.htm
70. OPEC. (2024). *Historical Production Data*. Žiūrėta 2024-02-17. Prieiga internetu: https://www.opec.org/opec_web/en/data_graphs/335.htm
71. Pratten, M. (2021). The Russia-Ukraine Donbass conflict and the threats to the oil and gas industry. *Medium*. Žiūrėta 2024-04-19. Prieiga internetu: <https://intellfusion.medium.com/the-russia-ukraine-donbass-conflict-and-the-threats-to-the-oil-and-gas-industry-df6160e065ae>
72. Rapier, R. (2017). How The Shale Boom Turned the World Upside Down. *Forbes*. Žiūrėta 2023-11-11. Prieiga internetu: <https://www.forbes.com/sites/rrapier/2017/04/21/how-the-shale-boom-turned-the-world-upside-down/?sh=705fb44d77d2>
73. Resnick-ault, J. (2021). Oil rallies to \$73 on tight U.S. supplies, Biden-Xi call. *Reuters*. Žiūrėta 2023-11-12. Prieiga internetu: <https://www.reuters.com/business/energy/oil-slips-chinas-plan-release-crude-reserves-airline-demand-woes-2021-09-10/>
74. Reuters. (2024). *US rejects ICC arrest warrants for Israeli officials, White House spokesperson says*. Žiūrėta 2024-12-24. Prieiga internetu: <https://www.reuters.com/world/us-rejects-icc-arrest-warrants-israeli-officials-white-house-spokesperson-says-2024-11-21/>
75. Renshaw, J. (2024). Exclusive: Trump prepares wide-ranging energy plan to boost gas exports, oil drilling, sources say. *Reuters*. Žiūrėta 2024-12-25. Prieiga internetu: <https://www.reuters.com/business/energy/trump-prepares-wide-ranging-energy-plan-boost-gas-exports-oil-drilling-sources-2024-11-25/>

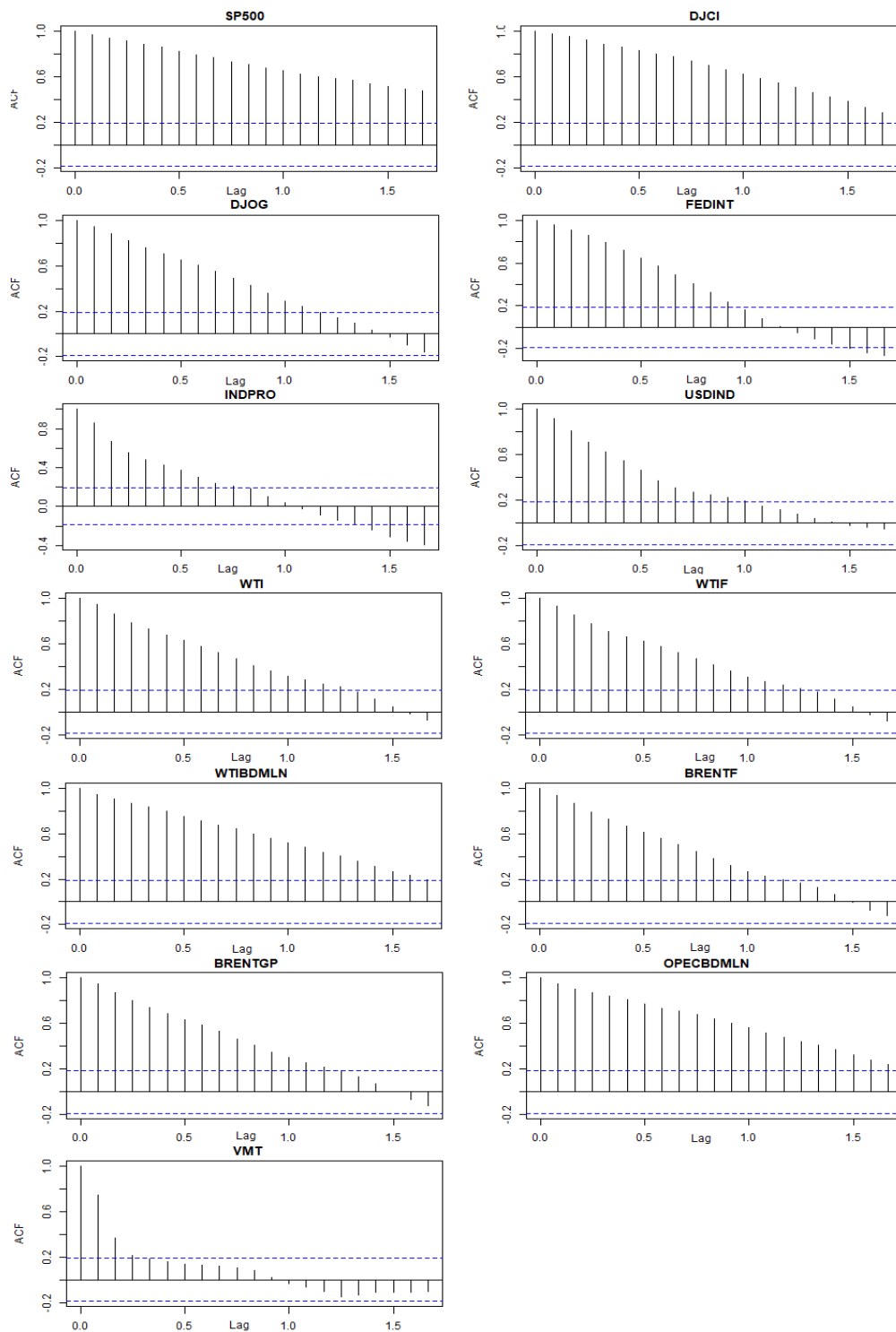
76. Roberts, A. (2023). Mean Absolute Percentage Error (MAPE): What You Need To Know. *Arize*. Žiūrėta 2024-04-22. Prieiga internetu: <https://arize.com/blog-course/mean-absolute-percentage-error-mape-what-you-need-to-know/>
77. Safari A., Davallou M. (2018). Oil price forecasting using a hybrid model. *Energy*. Žiūrėta 2023-11-03. Prieiga internetu: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544218300070>
78. Sanicola, L. (2023). Oil prices settle down, post big weekly losses on bank fears. *Reuters*. (2023). Žiūrėta 2024-12-22. Prieiga internetu: <https://www.reuters.com/business/energy/oil-steadies-investors-take-stock-banking-crisis-2023-03-17/>
79. SAP. (2024). *Root Mean Squared Error (RMSE)*. Žiūrėta 2024-04-22. Prieiga internetu: https://help.sap.com/docs/SAP_PREDICTIVE_ANALYTICS/41d1a6d4e7574e32b815f1cc87c00f42/5e5198fd4afe4ae5b48fefe0d3161810.html
80. Silva, P. (2018). A short tutorial on Fuzzy Time Series. *Towards Data Science*. Žiūrėta 2023-11-04. Prieiga internetu: <https://towardsdatascience.com/a-short-tutorial-on-fuzzy-time-series-dcc6d4eb1b15>
81. Simper, S. (2022). US oil and gas employment to recover in 2022. *World Pipelines*. Žiūrėta 2023-11-04. Prieiga internetu: <https://www.worldpipelines.com/business-news/18052022/us-oil-and-gas-employment-to-recover-in-2022/>
82. Soylent. (2023). *Vegan Statistics 2023*. Žiūrėta 2023-11-04. Prieiga internetu: <https://soylent.com/pages/vegan-statistics>
83. Song, Q., Chissom, B. S. (1993). Fuzzy time series and its models. *Fuzzy Sets and Systems*. Žiūrėta 2023-11-05. Prieiga internetu: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0165011493903720>
84. Statista. (2024). *Leading oil-consuming countries worldwide in 2023*. Žiūrėta 2024-12-22. Prieiga internetu: <https://www.statista.com/statistics/271622/countries-with-the-highest-oil-consumption-in-2012/>
85. Statista. (2024). *Leading oil-producing countries worldwide in 2023*. Žiūrėta 2024-12-22. Prieiga internetu: <https://www.statista.com/statistics/237115/oil-production-in-the-top-fifteen-countries-in-barrels-per-day/>
86. Statista. (2023). *Ocean shipping worldwide - statistics & facts*. Žiūrėta 2023-11-04. Prieiga internetu: <https://www.statista.com/topics/1728/ocean-shipping/#topicOverview>

87. Statista. (2023). *Proved oil reserves worldwide from 1992 to 2020, by region*. Žiūrēta 2023-11-06. Prieiga internetu: <https://www.statista.com/statistics/271614/oil-reserves-by-region/>
88. Speight, G., James. (2010). Chapter 12 – Petrochemicals. *Handbook of Industrial Hydrocarbon Processes*. Žiūrēta 2023-11-04. Prieiga internetu: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978075068632710012X>
89. Stern, I. D. (2004). Economic Growth and Energy. *Encyclopedia of Energy*. Žiūrēta 2024-04-17. Prieiga internetu: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B012176480X001479>
90. S&P Global. (2024). *Dow Jones U.S. Oil & Gas Index*. Žiūrēta 2024-03-04. Prieiga internetu: <https://www.spglobal.com/spdji/en/indices/equity/dow-jones-us-oil-gas-index/#overview>
91. S&P Global. (2024). *Dow Jones Commodity Index*. Žiūrēta 2024-04-04. Prieiga internetu: <https://www.spglobal.com/spdji/en/indices/commodities/dow-jones-commodity-index/#overview>
92. Mitchell, C., Norways, K. (2024). Libya's oil output, exports to resume after deal on central bank head. *S&P Global*. Žiūrēta 2024-12-25. Prieiga internetu: <https://www.spglobal.com/commodity-insights/en/news-research/latest-news/crude-oil/092624-libyas-oil-output-exports-to-resume-after-deal-on-central-bank-head>
93. Trading Economics. (2023). *Iran Exports*. Žiūrēta 2023-11-04. Prieiga internetu: <https://tradingeconomics.com/iran/exports>
94. Trading Economics. (2023). *Iraq Exports*. Žiūrēta 2023-11-04. Prieiga internetu: <https://tradingeconomics.com/iraq/exports>
95. Trading Economics. (2023). *Libya Exports*. Žiūrēta 2023-11-04. Prieiga internetu: <https://tradingeconomics.com/libya/exports>
96. Trading Economics. (2023). *Saudi Arabia Exports*. Žiūrēta 2023-11-04. Prieiga internetu: <https://tradingeconomics.com/saudi-arabia/exports>
97. Trading Economics. (2023). *Venezuela Exports by Category*. Žiūrēta 2023-11-04. Prieiga internetu: <https://tradingeconomics.com/venezuela/exports-by-category>
98. Trading Economics. (2024). *United States Fed Funds Interest Rate*. Žiūrēta 2024-12-22. Prieiga internetu: <https://tradingeconomics.com/united-states/interest-rate>
99. Vasilyeva, N. (2024). Its Syrian Bases in Doubt, Russia Sends Cargo Flights to Libya. *The New York Times*. Žiūrēta 2024-12-25. Prieiga internetu: <https://www.nytimes.com/2024/12/19/world/middleeast/russia-flights-libya-syria.html>

100. Watts, W., Saefong, M. (2020). Oil prices at 4-month high as U.S. crude supply posts biggest decline of the year and OPEC+ tapers output cuts. *Market Watch*. Žiūrēta 2023-11-12. Prieiga internetu: <https://www.marketwatch.com/story/oil-prices-jump-on-expectations-for-drawdown-in-us-crude-supplies-as-investors-keep-eye-on-opec-2020-07-15?mod=myra-p-saefong>
101. Wilde, W. (2022). Fact check: How bad is eating meat for the climate? *Deutsche Welle*. Žiūrēta 2023-11-04. Prieiga internetu: <https://www.dw.com/en/fact-check-is-eating-meat-bad-for-the-environment/a-63595148>
102. Winarno, S., Usman, M., Warsono., Kurniasari, D., Widiarti. (2021). Application of Vector Error Correction Model (VECM) and Impulse Response Function for Daily Stock Prices. *Journal of Physics: Conference Series*. Žiūrēta 2024-04-24. Prieiga internetu: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1751/1/012016>
103. Wunsch, N.-G. (2023). Why did you originally become a vegan or vegetarian? *Statista*. Žiūrēta 2023-11-04. Prieiga internetu: <https://www.statista.com/statistics/1062072/reasons-for-becoming-vegetarian-or-vegan-in-great-britain/#statisticContainer>
104. Xiong, J., Wu, P. (2008). An Analysis of Forecasting Model of Crude Oil Demand Based on Cointegration and Vector Error Correction Model (VEC). *International Seminar on Business and Information Management*. Žiūrēta 2024-11-27. Prieiga internetu: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5117533>
105. Zalan, E., Debeuf, K. (2020). 2008-2009: The years that almost broke the euro. *euobserver*. Žiūrēta 2023-11-09. Prieiga internetu: <https://euobserver.com/20th-anniversary/150087>
106. Zhang, D., Shen, J., Zhang, F., Li, Y., Zhang, W. (2017). Carbon footprint of grain production in China. *Nature*. Žiūrēta 2023-11-04. Prieiga internetu: <https://www.nature.com/articles/s41598-017-04182-x>.
107. Zhuang, X. H., Xiang, Y. (2013). Application of ARIMA Model in Short-Term Prediction of International Crude Oil Price. *Advanced Materials Research*. Žiūrēta 2023-11-04. Prieiga internetu: <https://www.scientific.net/AMR.798-799.979>

1. Priedas

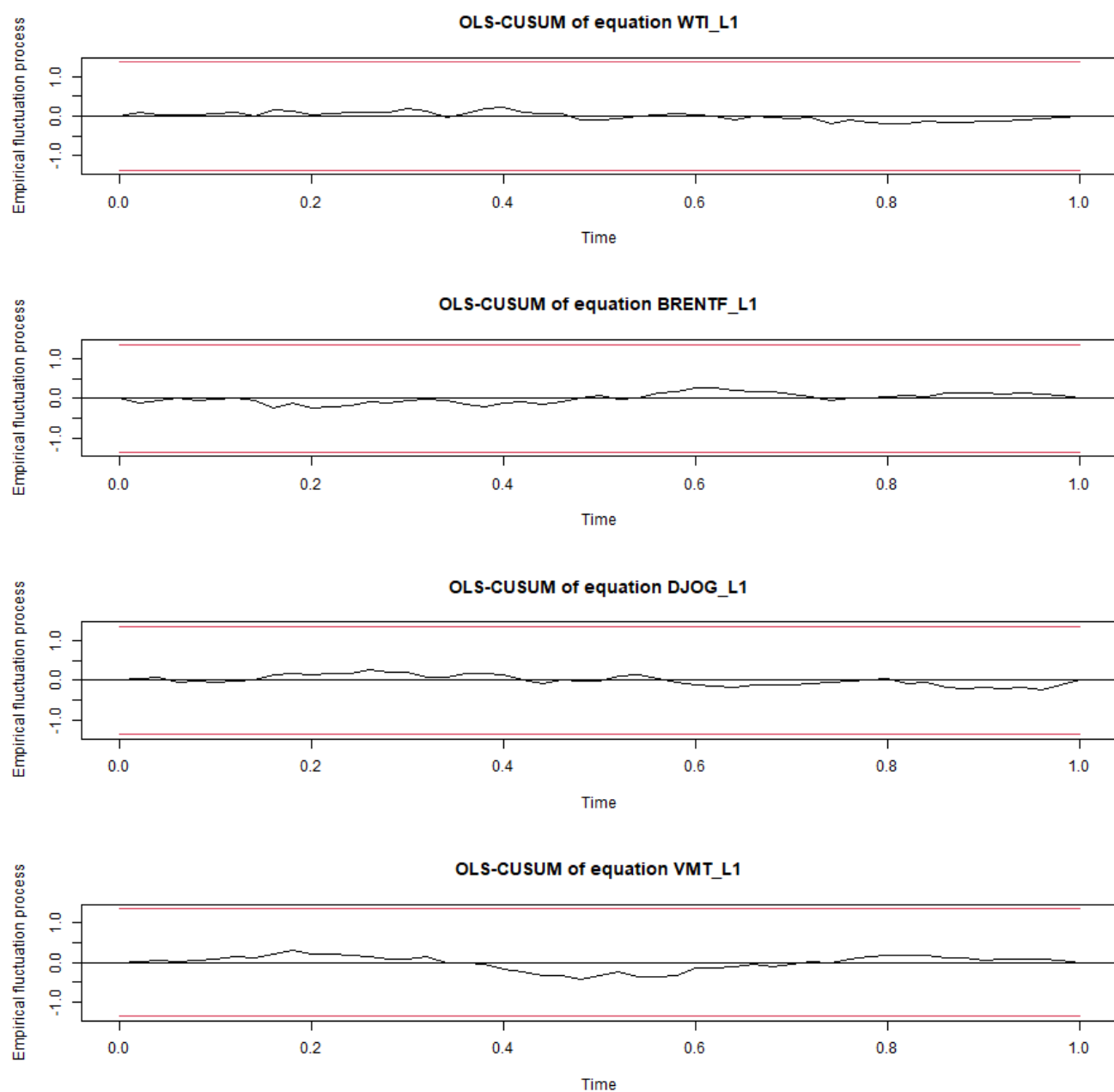
16 pav. Pasirinktų kintamųjų autokorelogramų grafikai



Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

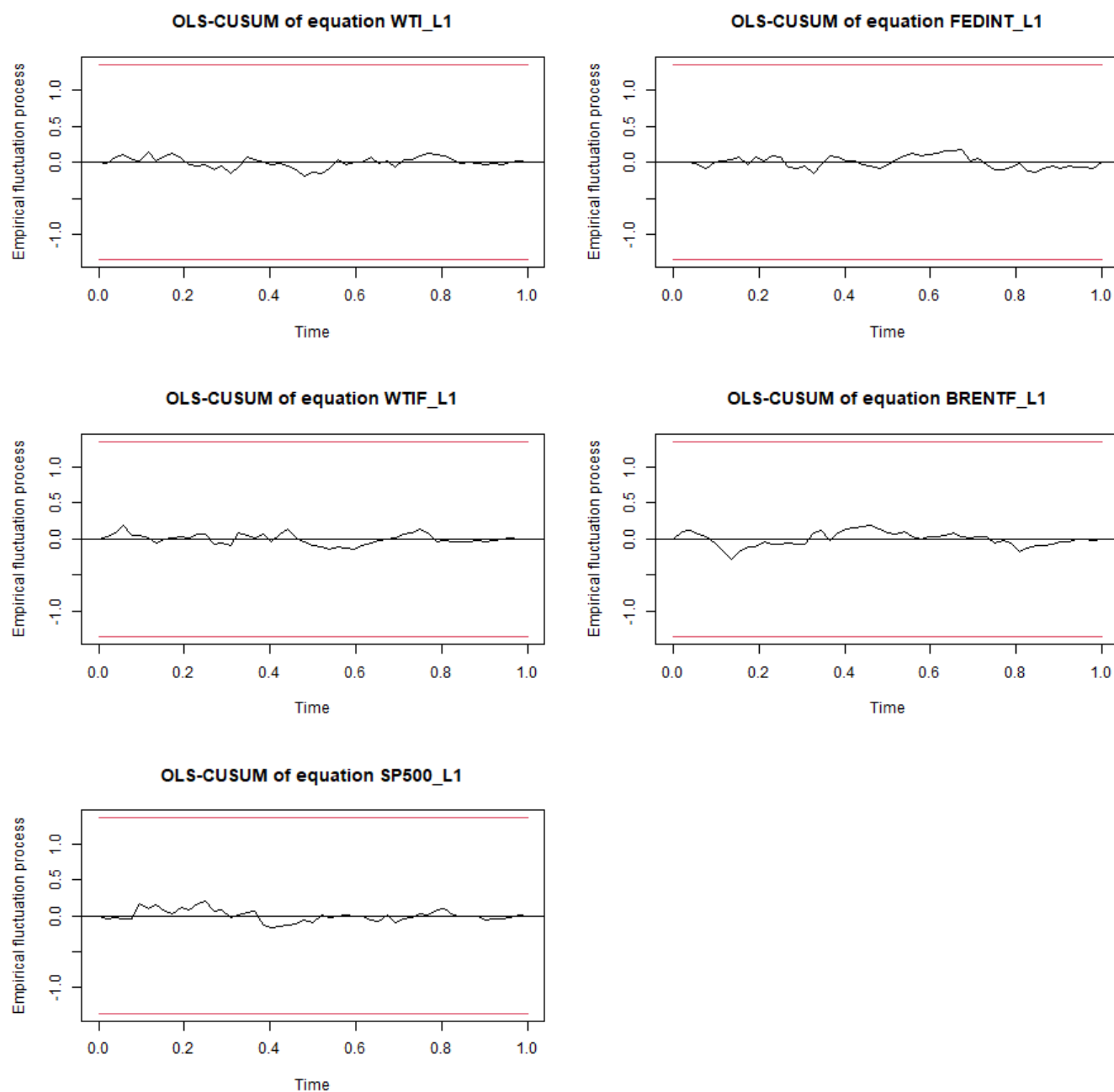
2. Priedas

17 pav. Sudaryto VAR1 modelio stabilumo testo rezultatai



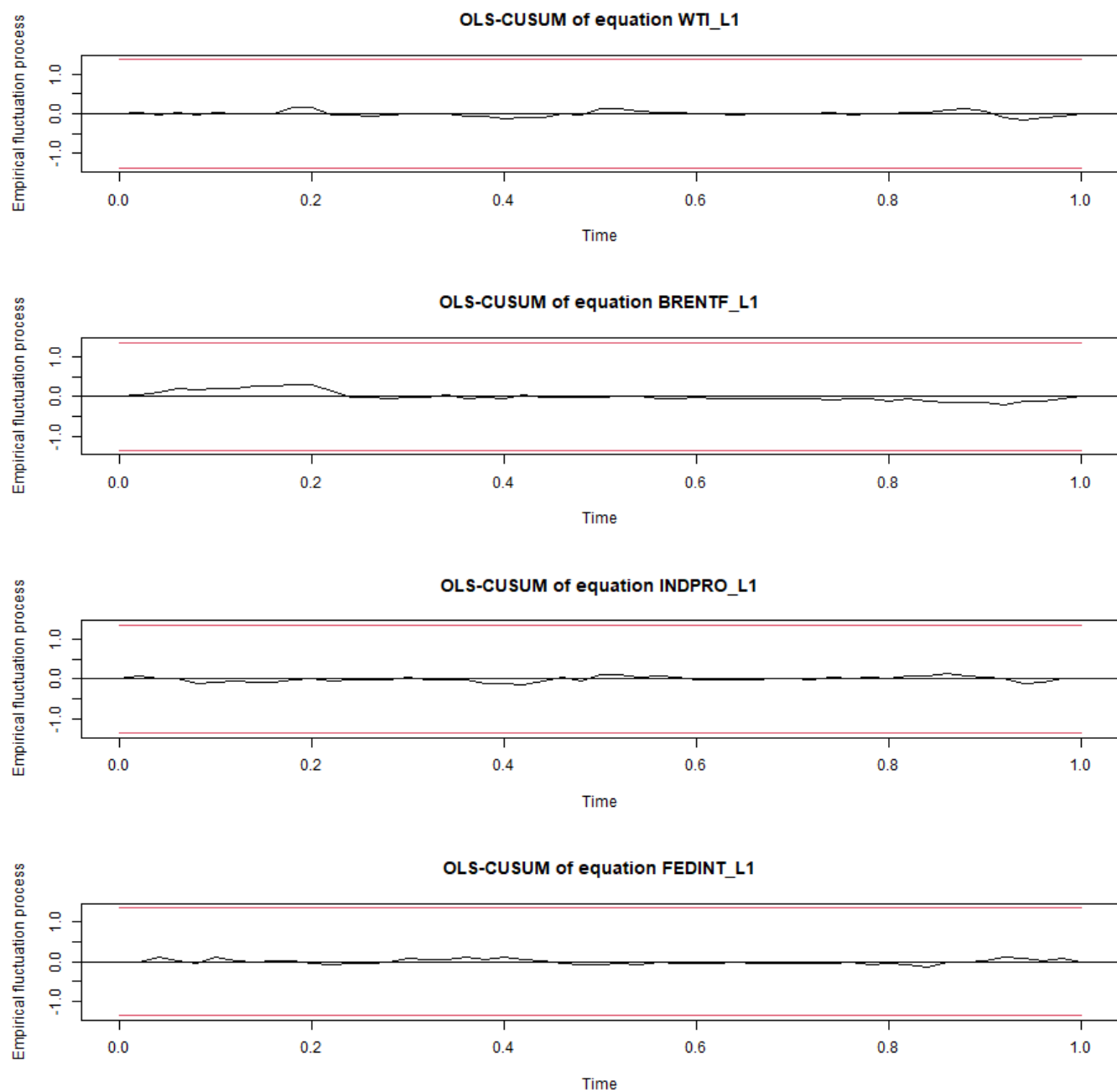
Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

18 pav. Sudaryto VAR2 modelio stabilumo testo rezultatai



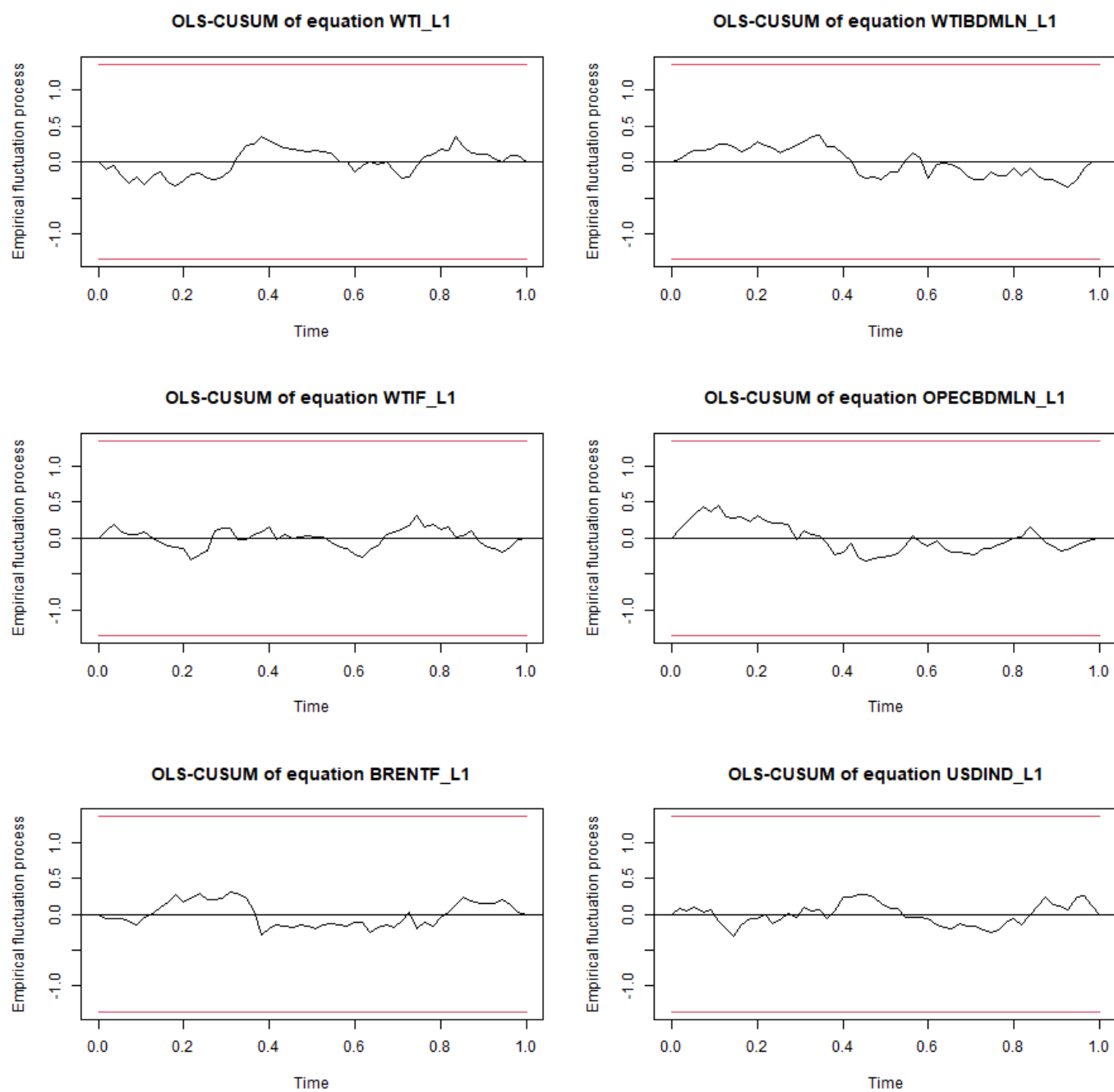
Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

19 pav. Sudaryto VAR3 modelio stabilumo testo rezultatai



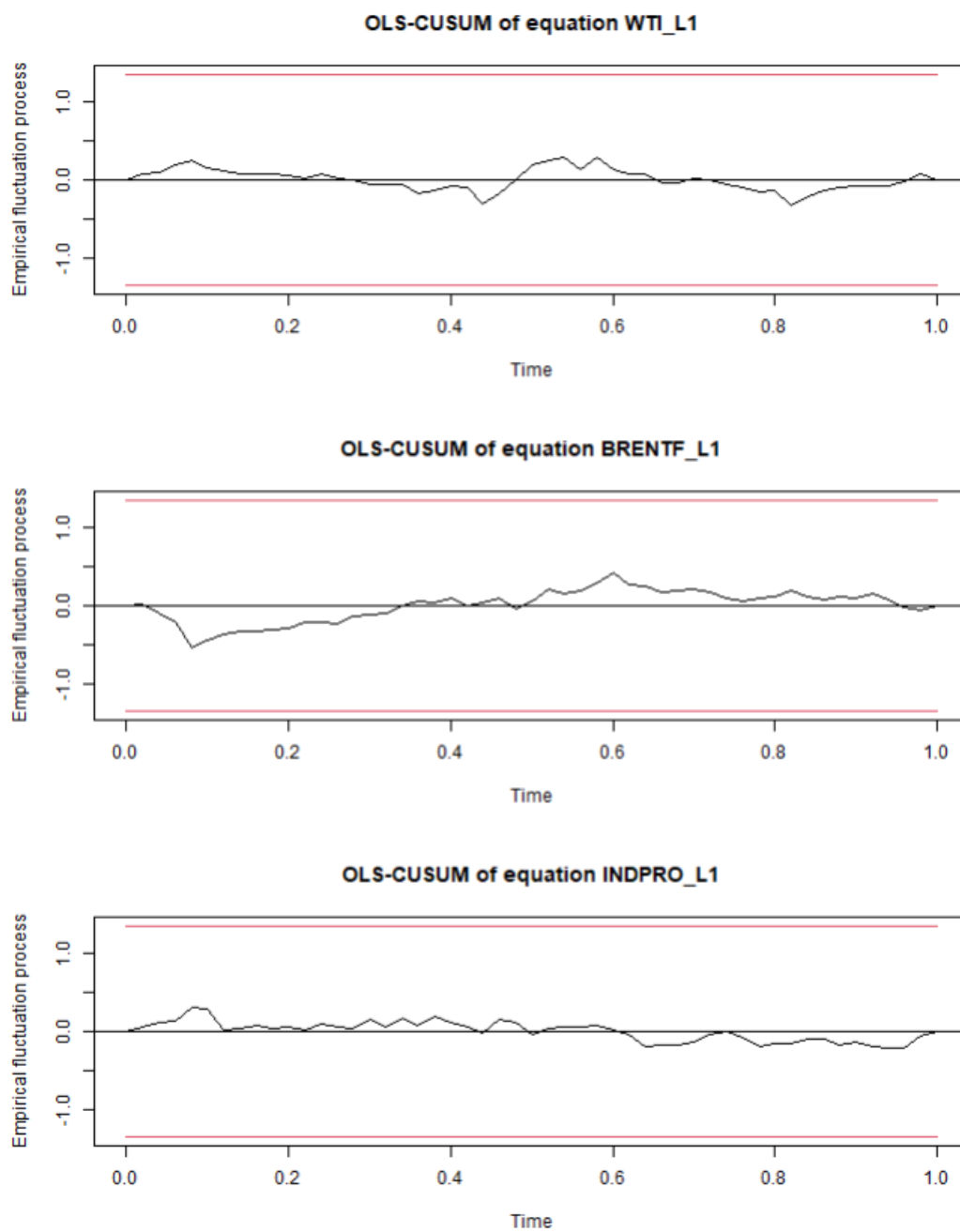
Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

20 pav. Sudaryto VAR4 modelio stabilumo testo rezultatai:



Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

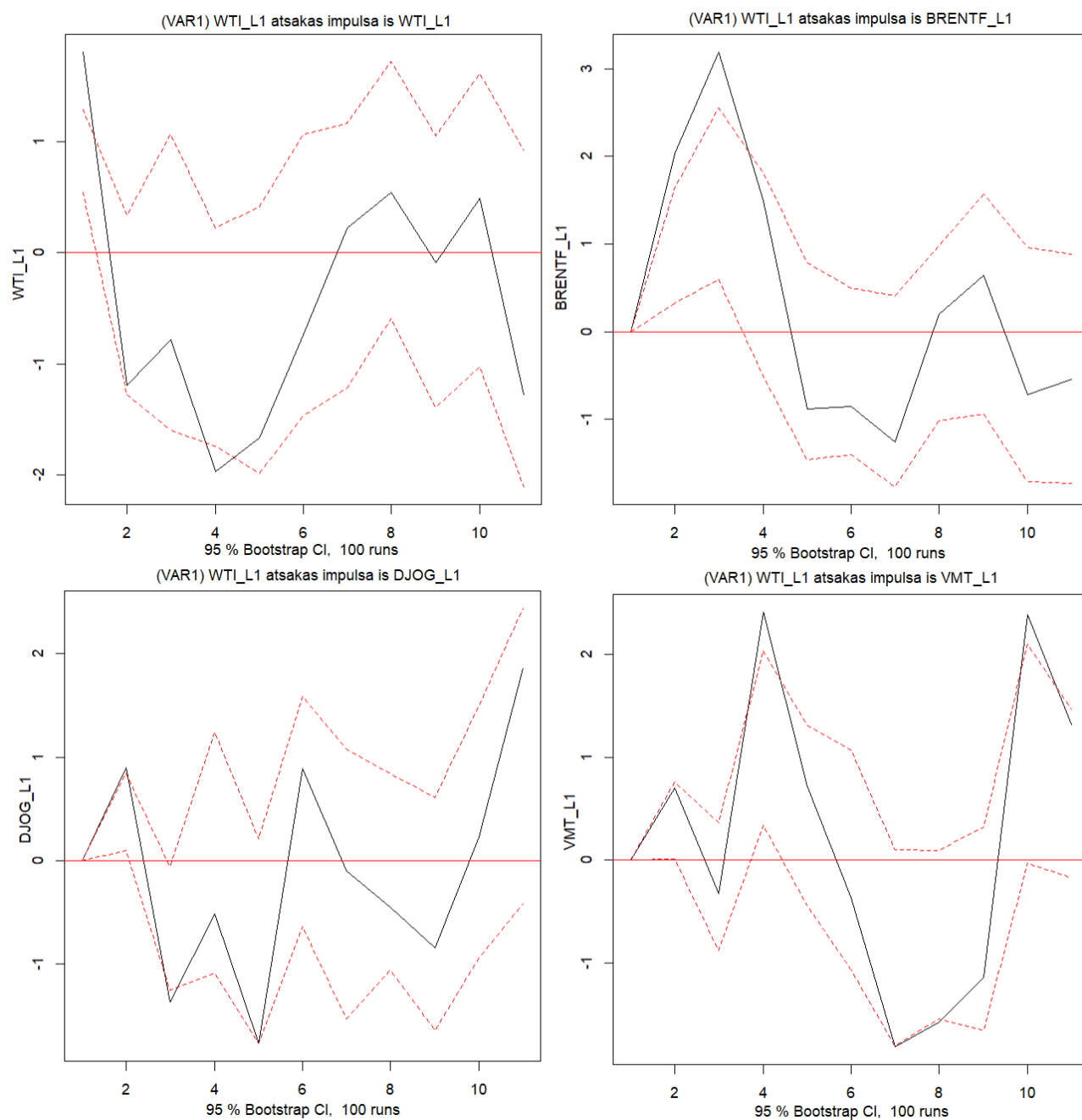
21 pav. Sudaryto VAR5 modelio stabilumo testo rezultatai:



Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

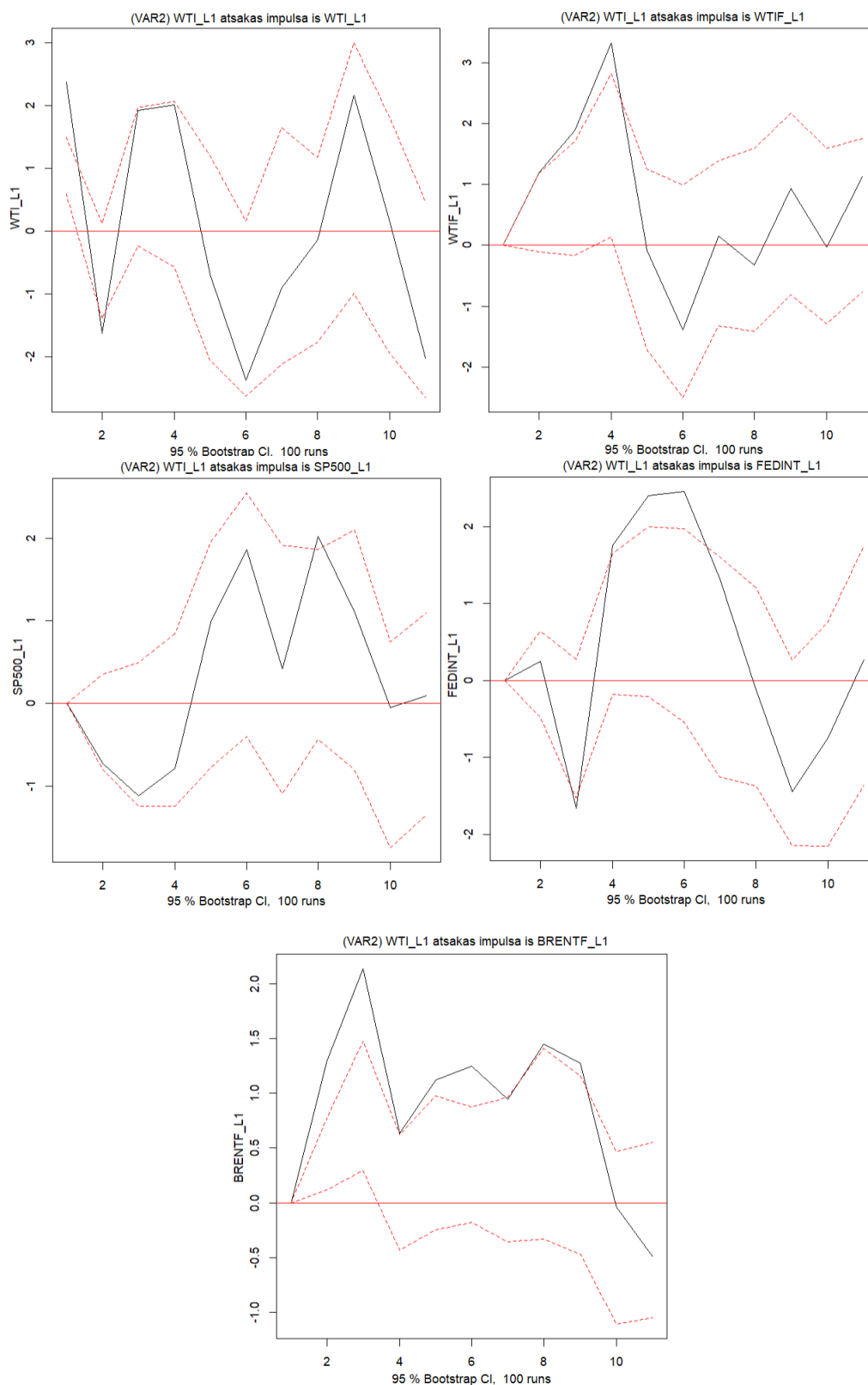
3. Priedas

22 pav. VAR1 modelio impulso-atsako analizės rezultatai:



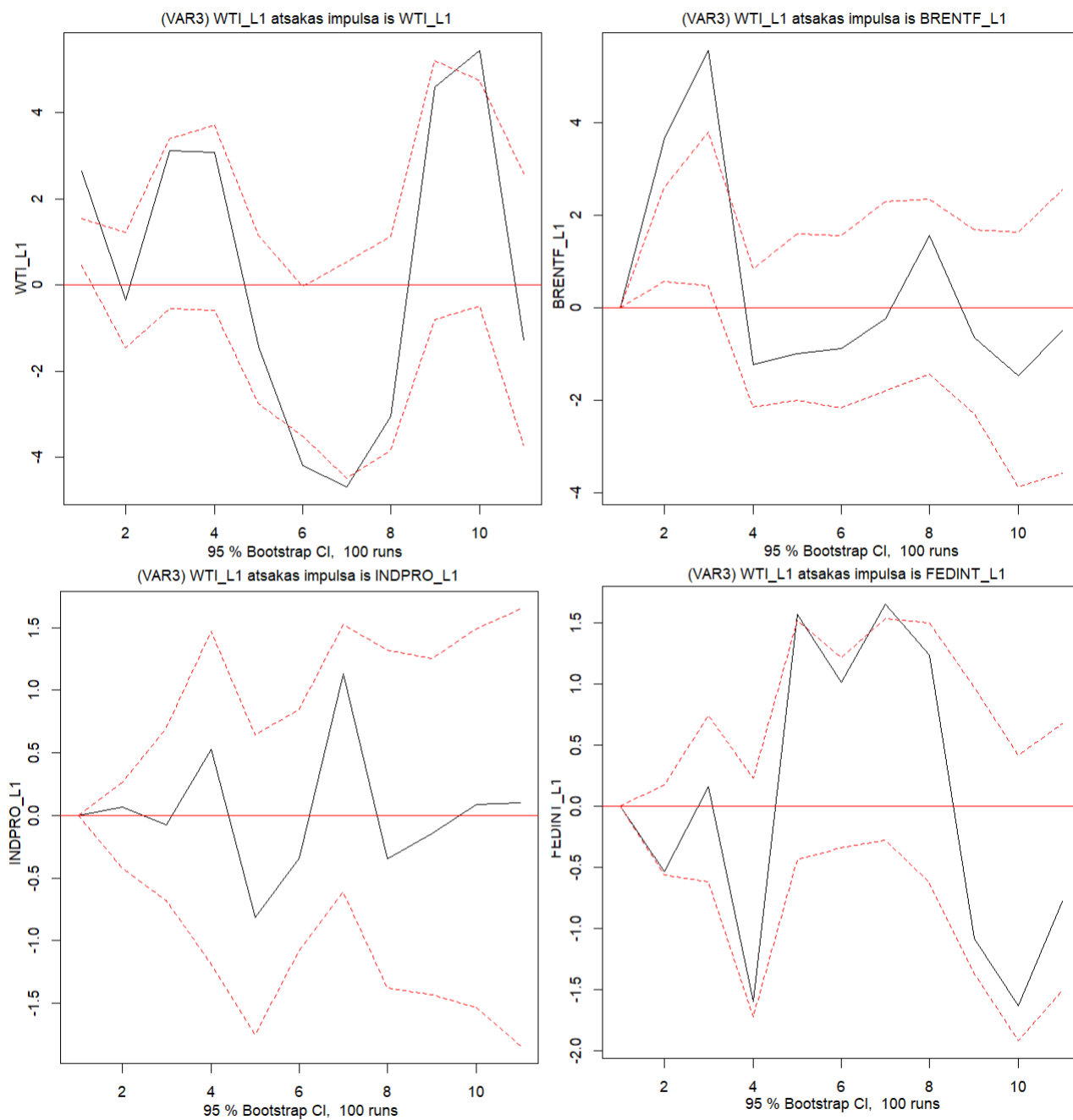
Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

23 pav. VAR2 modelio impulso-atsako analizės rezultatai:



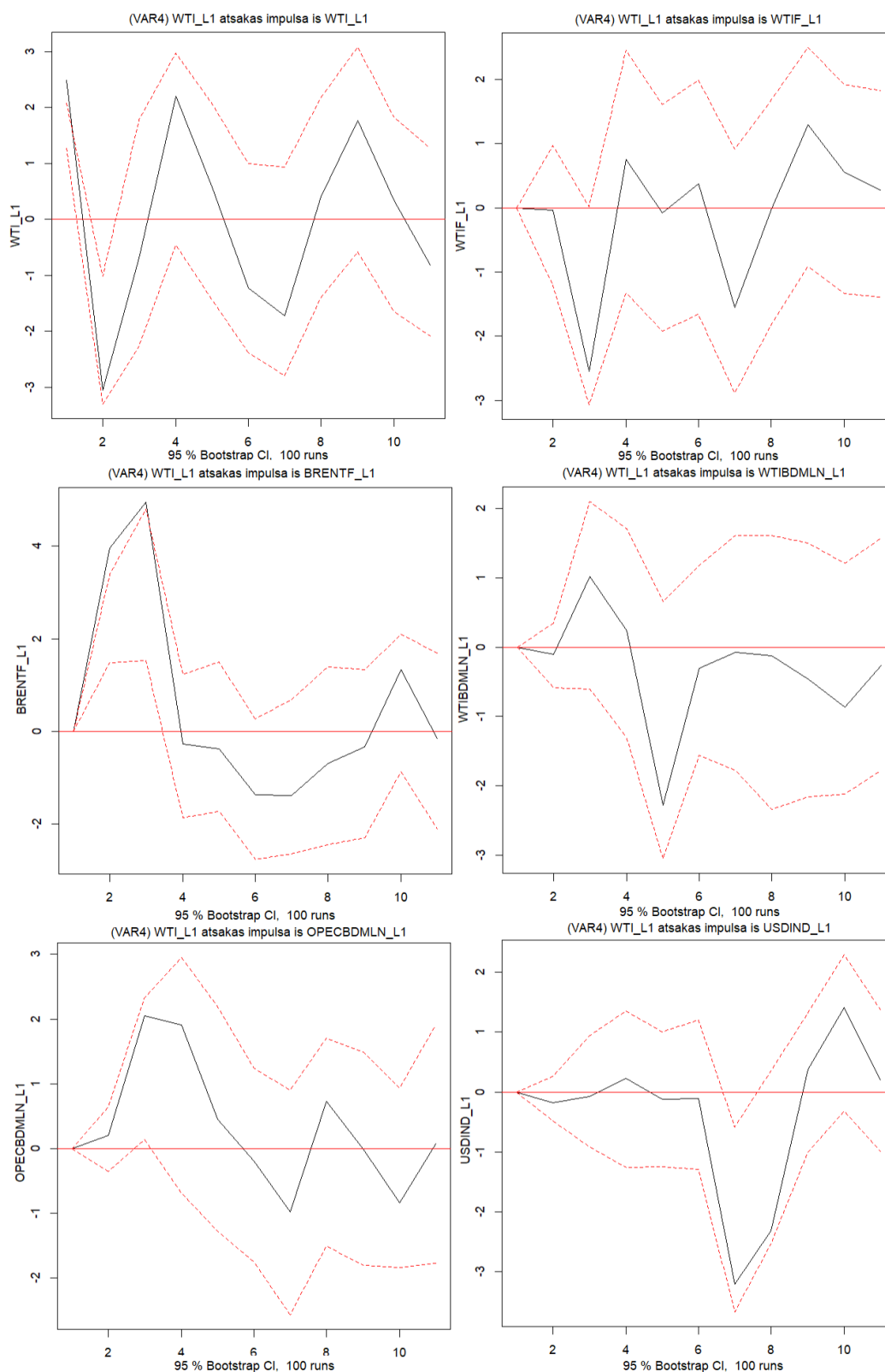
Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

24 pav. VAR3 modelio impulso-atsako analizės rezultatai:



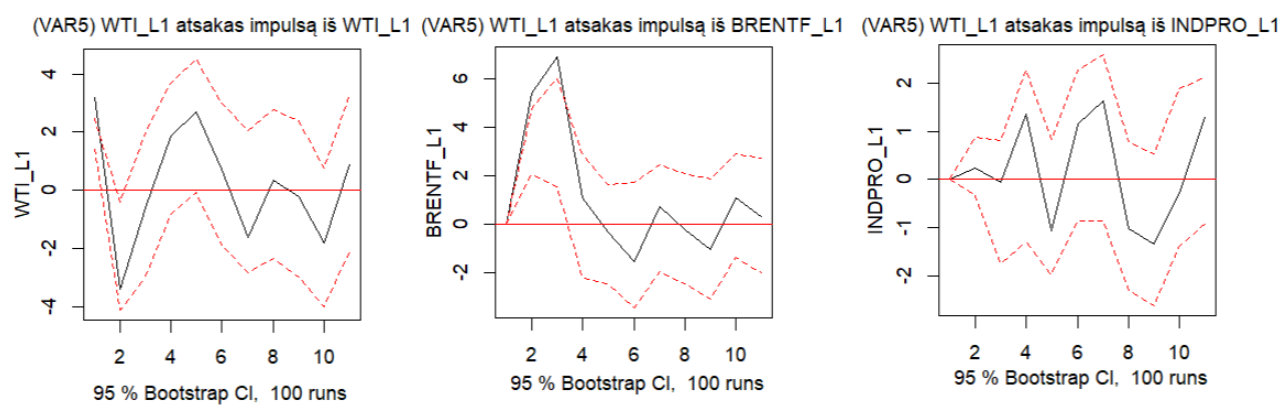
Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

25 pav. VAR4 modelio impulso-atsako analizės rezultatai:



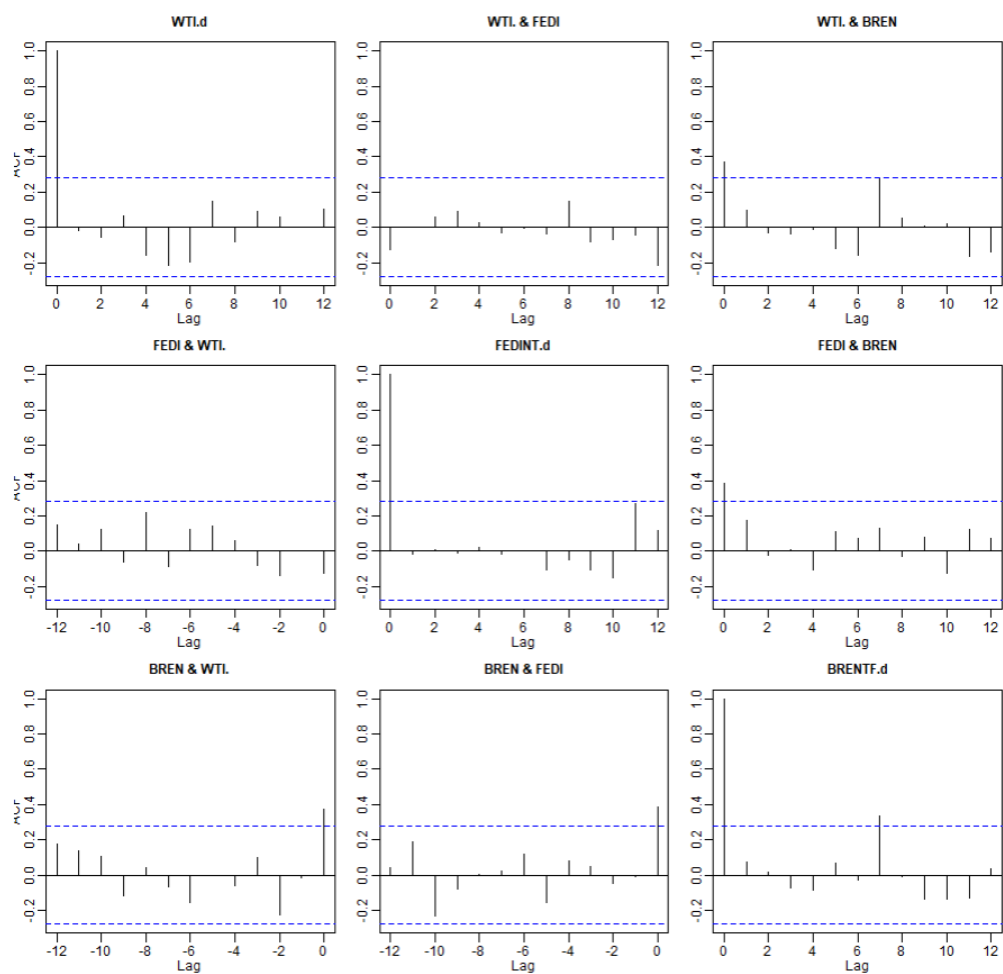
Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

26 pav. VAR5 modelio impulso-atsako analizės rezultatai:



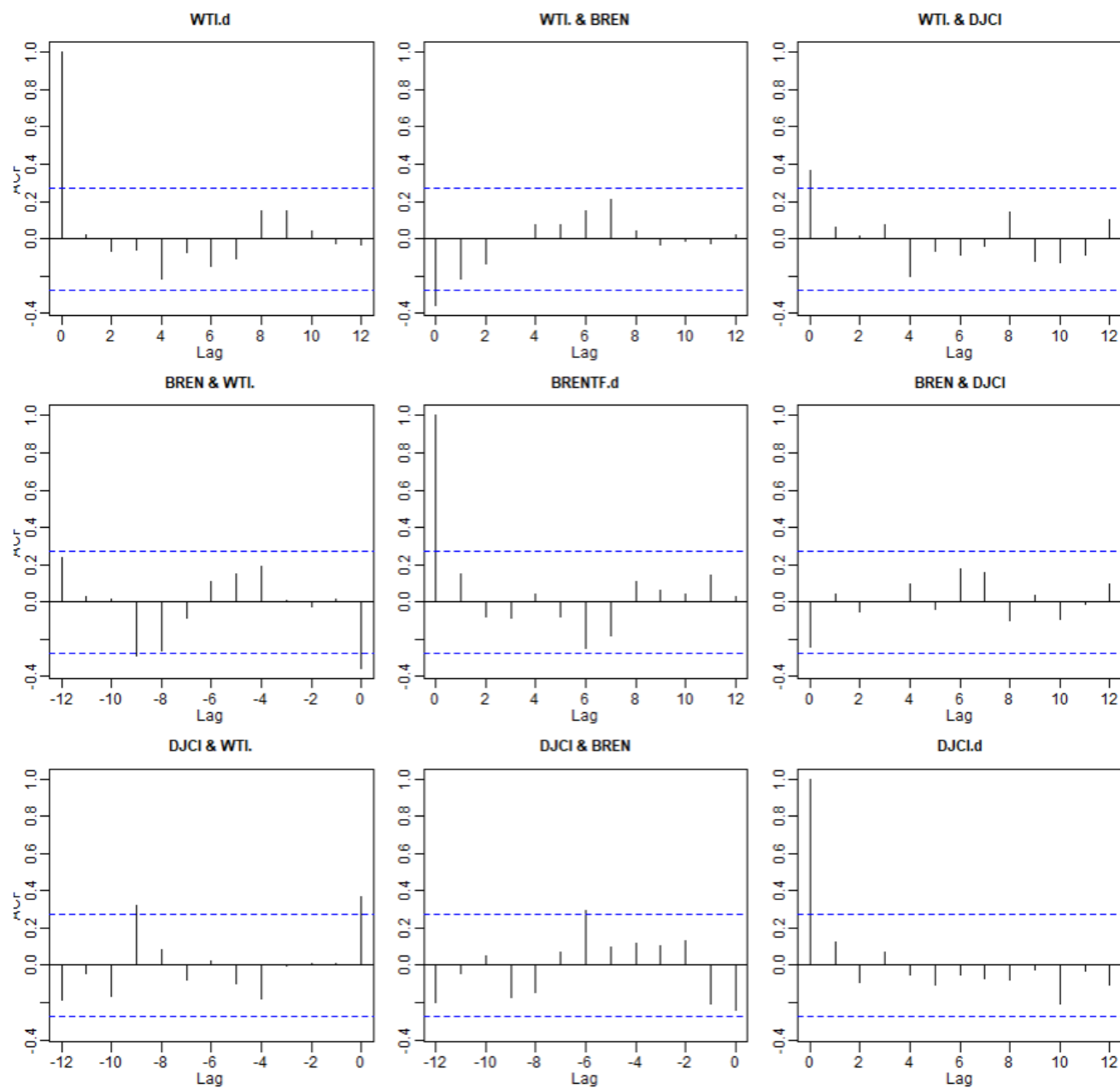
4. Priedas

29 pav. VECM1 modelio liekanų autokorelogramos (ACF):



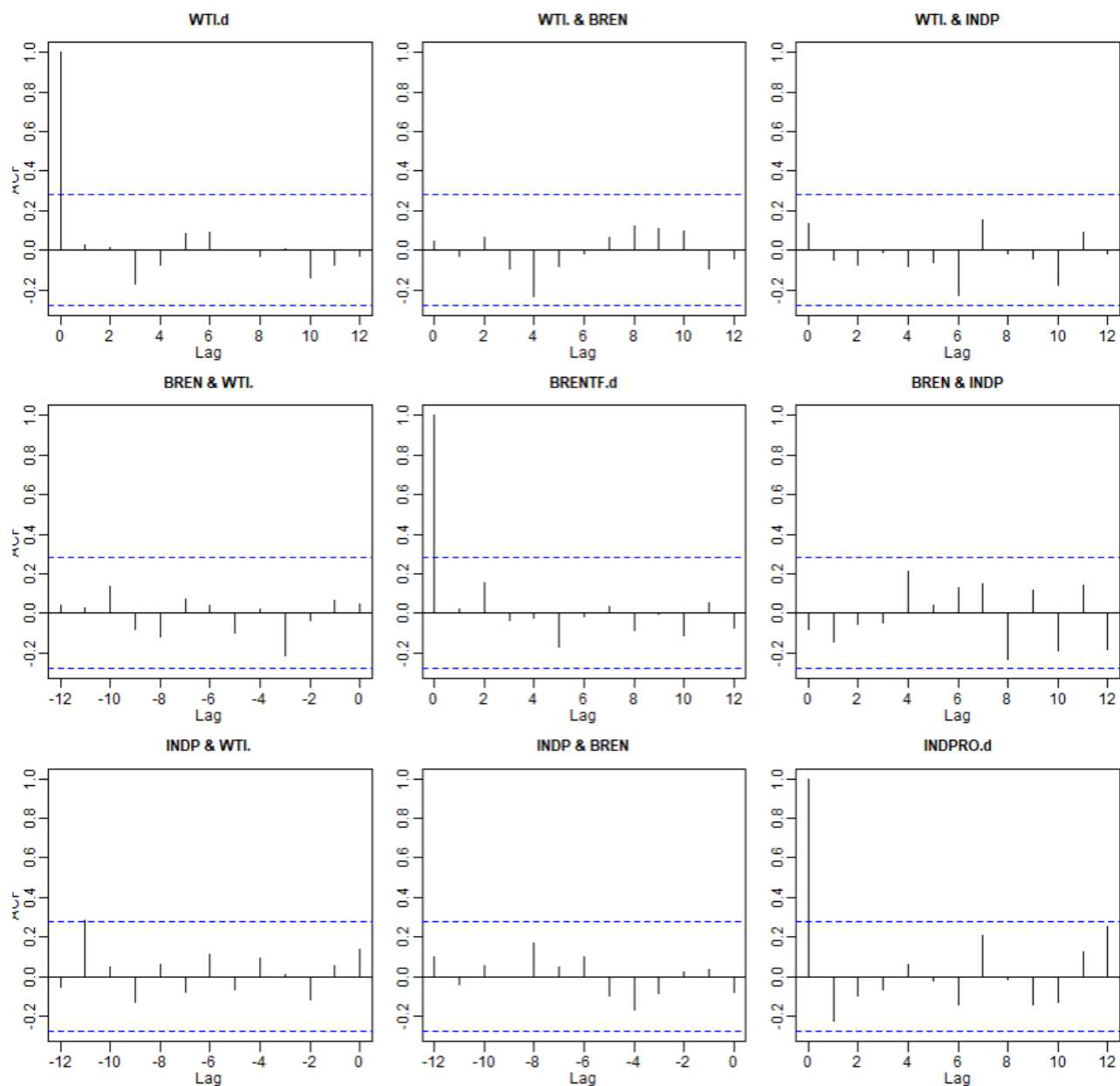
Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

30 pav. VECM2 modelio liekanų autokorelogramos (ACF):



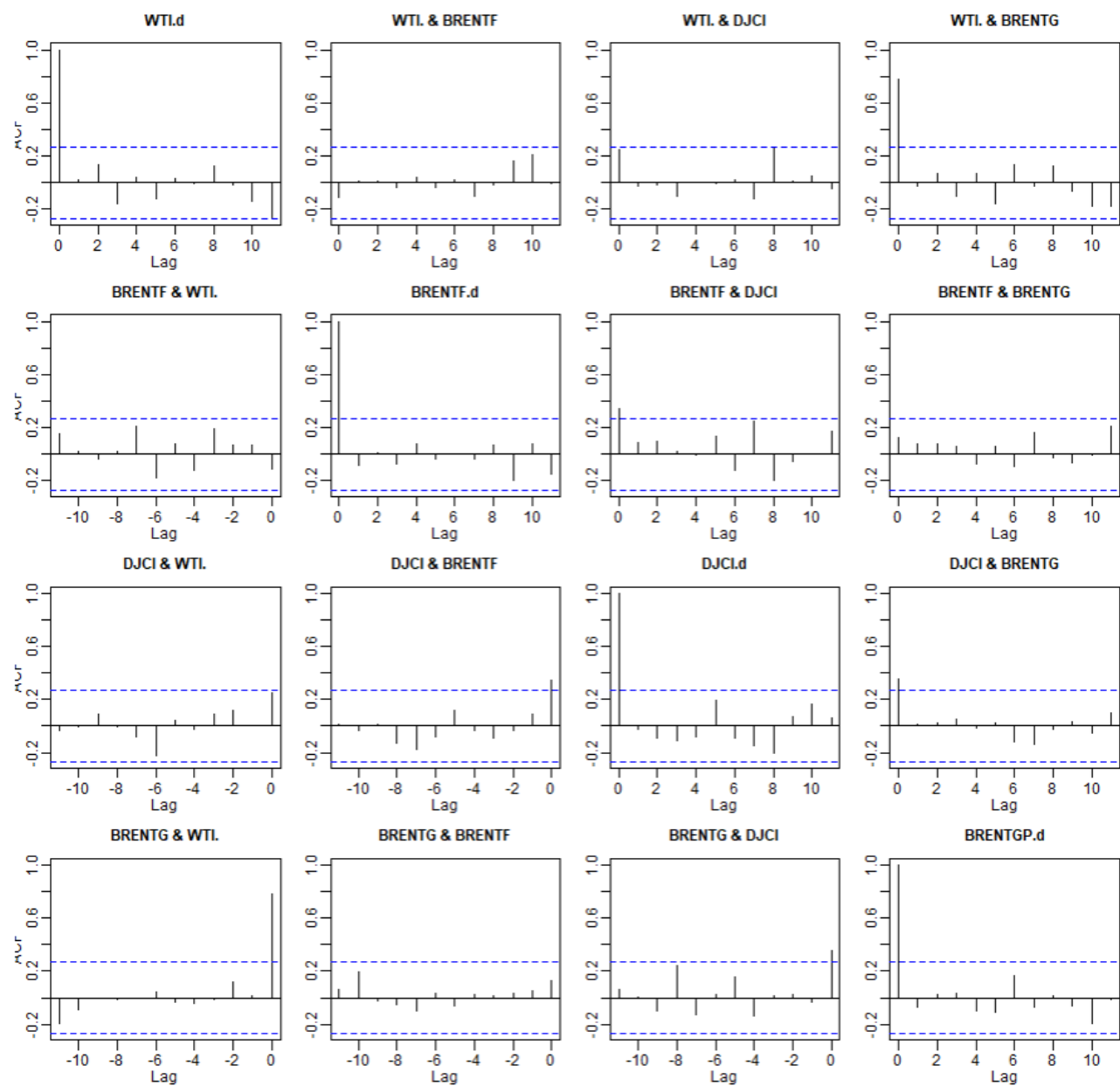
Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

31 pav. VECM3 modelio liekanų autokorelogramos (ACF):



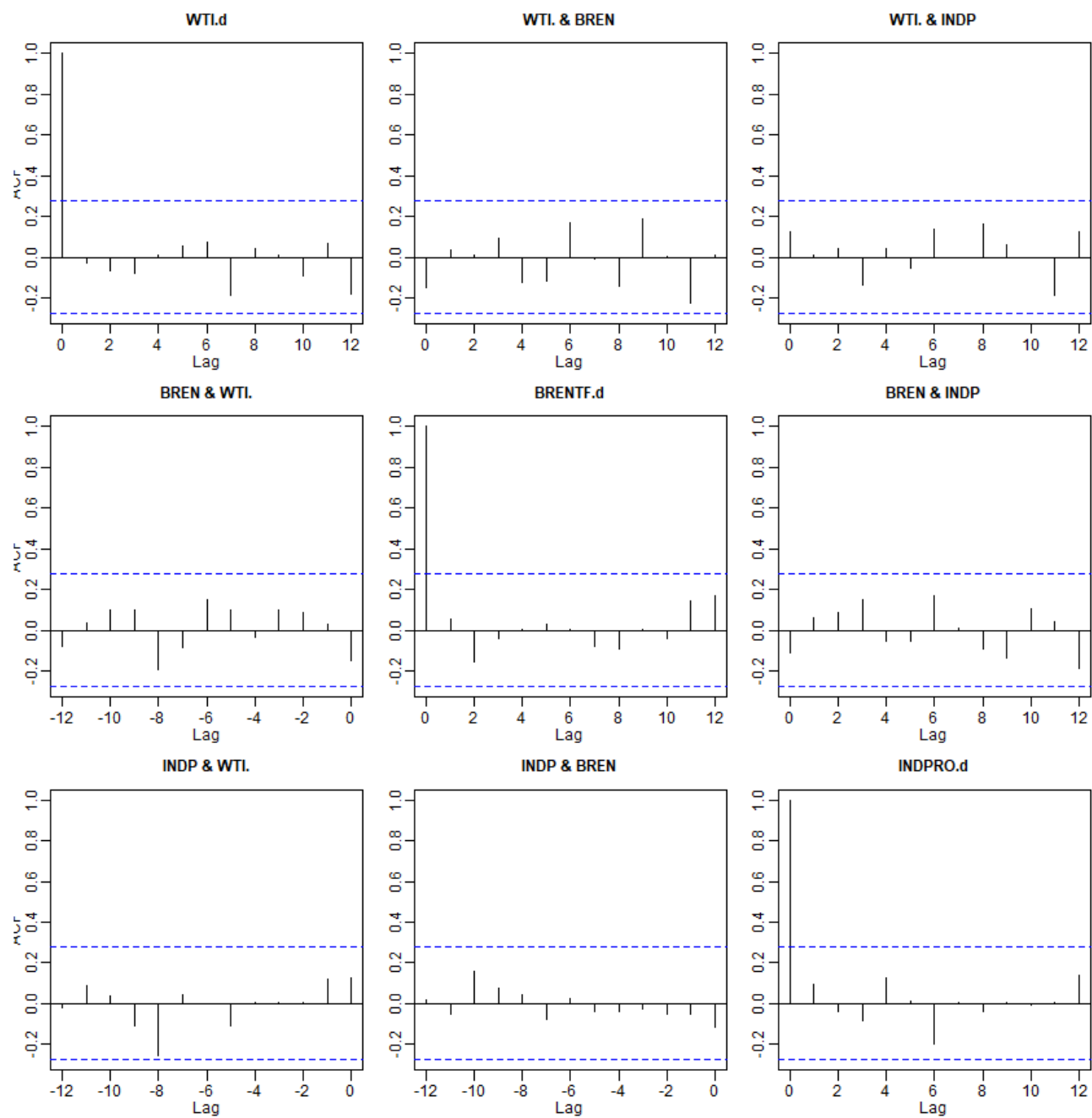
Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

32 pav. VECM4 modelio liekanų autokorelogramos (ACF):



Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

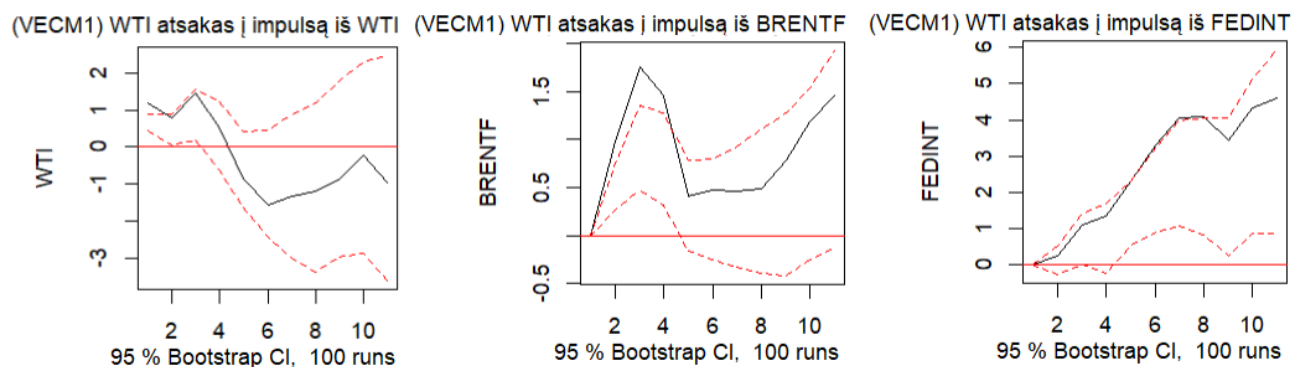
33 pav. VECM5 modelio liekanų autokorelogramos (ACF):



Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

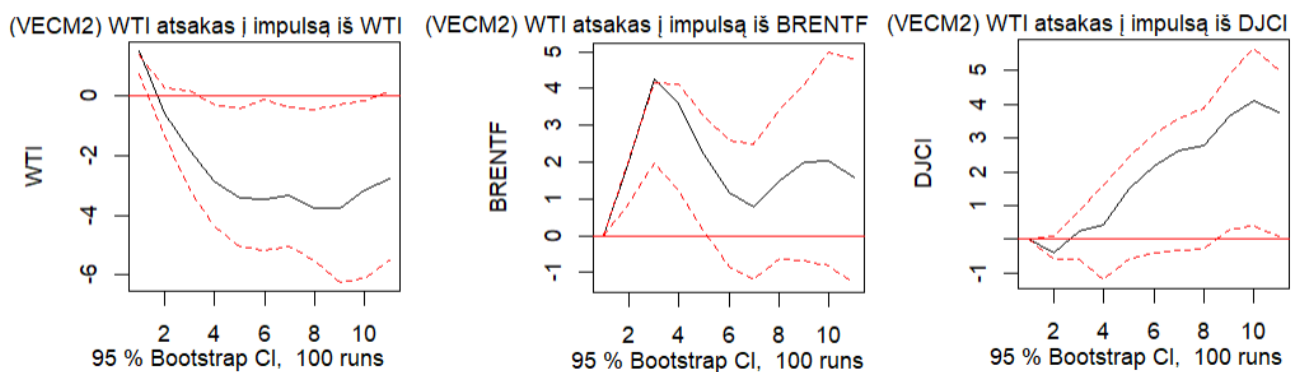
5. Priedas

34 pav. Į VAR konvertuoto VECM1 impulso-atsako analizės grafikai:



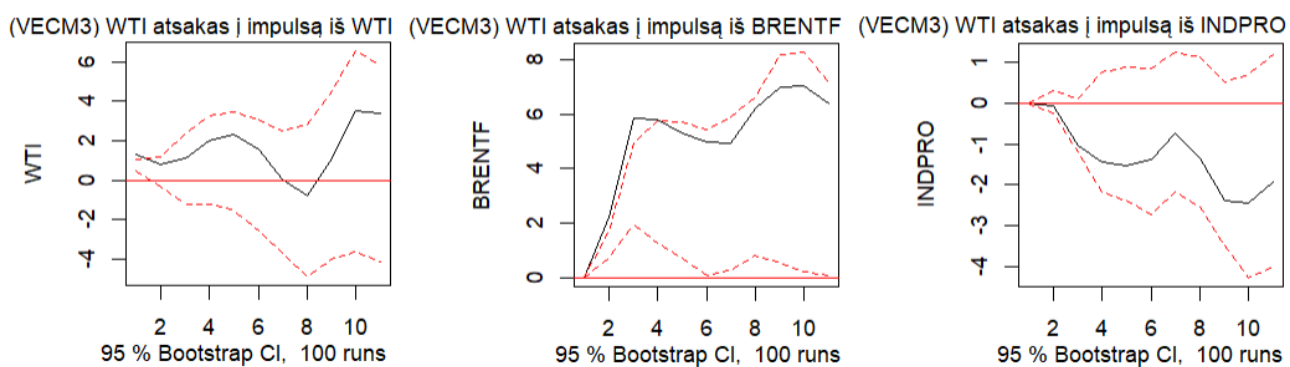
Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

35 pav. Į VAR konvertuoto VECM2 impulso-atsako analizės grafikai:



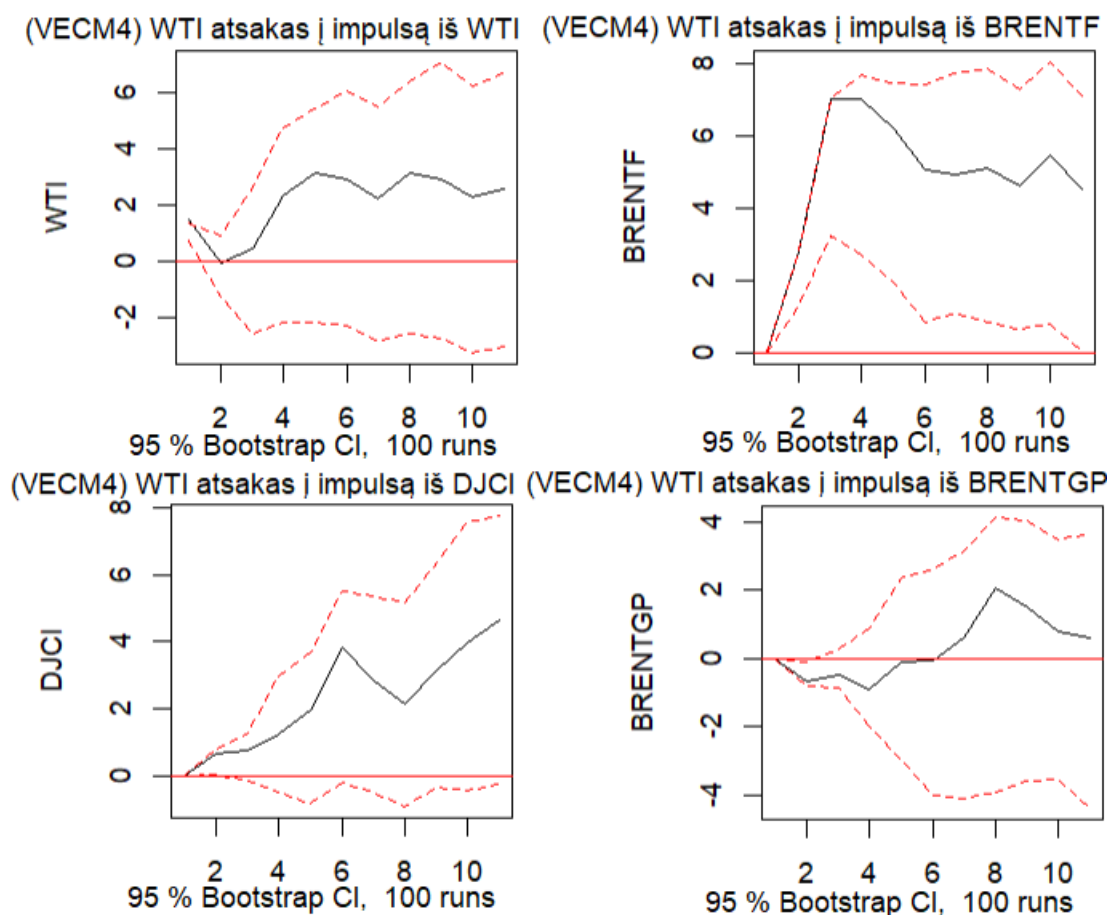
Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

36 pav. Į VAR konvertuoto VECM3 impulso-atsako analizės grafikai:



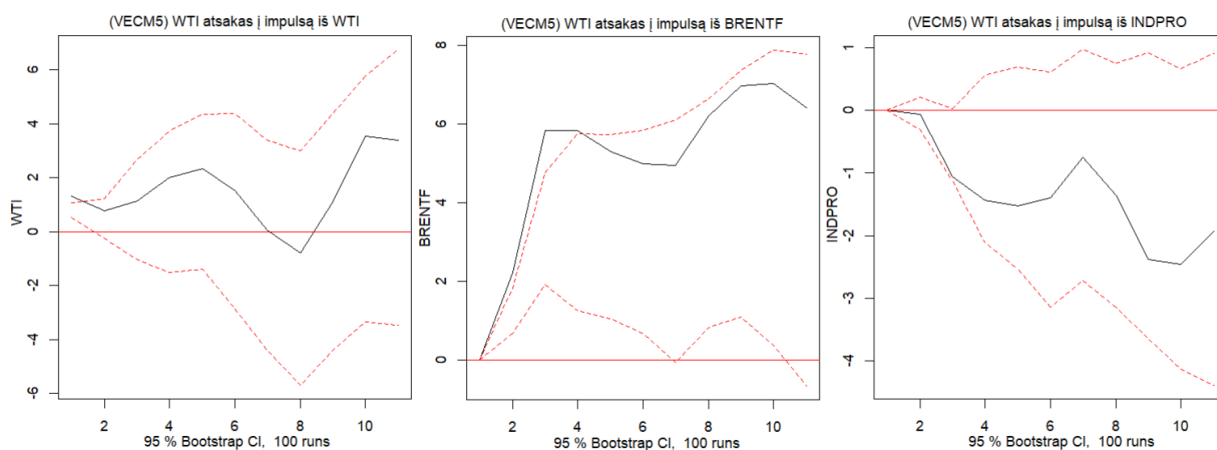
Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

37 pav. Į VAR konvertuoto VECM4 impulso-atsako analizės grafikai:



Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.

38 pav. Į VAR konvertuoto VECM5 impulso-atsako analizės grafikai:



Šaltinis: Sudaryta autoriaus, remiantis atliktu tyrimu.